

文章编号:1007-2780(2010)06-0879-05

CCD 视频信号集成处理器的暗电平自动校正

李丙玉^{1,2}, 王晓东¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: liby0125@126.com;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 在应用 CCD 视频信号集成处理器(视频处理器)的相机系统中, 在目标亮度不变的情况下, 当增益参数设置较大时, 视频处理器的暗电平自动校正过程会导致 CCD 图像在开始阶段出现灰度值“渐变”和“突变”现象。以 EXAR 公司 XRD98L59 为例, 对视频处理器内部结构和暗电平自动校正的工作过程进行分析, 建立了暗电平自动校正过程的数学模型, 通过实验确定了各项参数的值。根据模型计算结果, 将相机系统准备时间调整为 5 s, 解决了 CCD 图像在开始阶段灰度值“渐变”和“突变”的问题。

关 键 词: CCD; 视频处理器; 暗电平; 自动校正

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Black Level Auto-Correction in CCD Signal Processor

LI Bing-yu^{1,2}, WANG Xiao-dong¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: liby0125@126.com;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In a camera system of CCD as sensor and utilizing CCD video signal integrated processor (video signal processor for short), when gain is high, the black level auto-correction process of video signal processor will cause CCD image gray value vary slowly and sharply at the beginning stage with target brightness not varying. Based on XRD98L59 of EXAR, this paper analyzes the device structure and its black level auto-correction process, establishes the model of black level auto-correction process, determines the parameters by experiment, and verifies the correctness of the model. According to the calculating results of the model, the preparing time of the camera system is adjusted to 5 s, the problem that CCD image gray values vary “slowly” and “sharply” at the beginning stage is resolved.

Key words: CCD; video signal processor; black level; auto-correction

1 引 言

CCD 具有噪声输出低、动态范围大、量子效率高、电荷转移效率高、光谱响应范围宽和几何稳定性好等突出优点^[1-3], 已经成为空间相机系统中应用最广的探测器。在 CCD 作为探测器的空间相机系统中, 视频信号需要经过多级低噪声信号

处理电路转化为数字信号, 由于体积和重量的要求, 选择集成化的视频处理器是很有必要的。

目前, 大多数 CCD 视频处理器内部集成了相关双采样电路、可编程增益放大电路和模数转换电路。通过串口加载控制参数, 可实现低噪声信号放大; 具有暗电平自动校正功能, 能够消除 CCD 暗电流影响, 获得更佳的图像质量^[4-5]。但

收稿日期: 2010-07-13; 修订日期: 2010-08-10

作者简介: 李丙玉(1980—), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事空间图像传感器成像控制与信息处理技术研究。

在使用中发现,在相机系统目标亮度不变、视频处理器设置增益参数较大时,拍摄的图像在开始阶段会出现灰度值“渐变”和“突变”现象。

本文以 EXAR 公司 XRD98L59 芯片为研究对象,对视频处理器的内部结构以及暗电平自动校正的工作过程进行分析,建立了暗电平自动校正过程的数学模型,阐明了图像在开始阶段出现灰度值“渐变”和“突变”现象的原因并提出了解决方案。

2 视频处理器 XRD98L59

2.1 XRD98L59 内部结构

EXAR 公司视频处理器 XRD98L59 内部结构如图 1 所示。

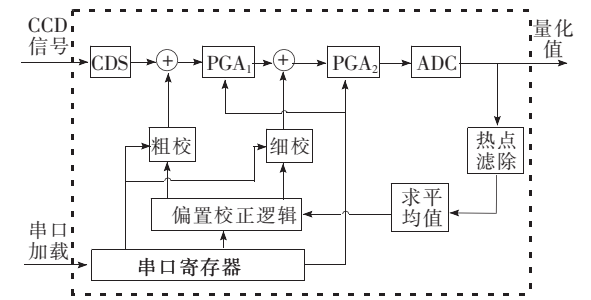


图 1 XRD98L59 内部结构
Fig. 1 Architecture of XRD98L59

芯片内部集成了相关双采样电路(CDS)、可编程增益放大电路(PGA₁和PGA₂)和模数转化电路(ADC),并且可以通过串行数据接口设置内部控制寄存器的值,配置视频处理器的工作模式。

2.2 XRD98L59 工作时序

视频处理器 XRD98L59 的工作时序信号主要包括:相关双采样信号(SPIX和SBLK)和钳位信号(CLAMP和CAL),时序关系如图 2 所示。图中 $T_1=nT_3$, $T_2=mT_3$ (n 和 m 为大于 1 的整数)。

线阵 CCD 器件结构中,有效像元两端存在一定数目的隔离像元和暗像元,CLAMP 信号在每行图像开始前有效,用于视频处理器内部电路直流电平恢复;CAL 信号在每行图像结束后有效,对应 CCD 暗像元,用于动态消除 CCD 暗电流影响。

SPIX 信号和 SBLK 信号在上升沿分别对 CCD 视频信号的信号电平和参考电平进行采样,

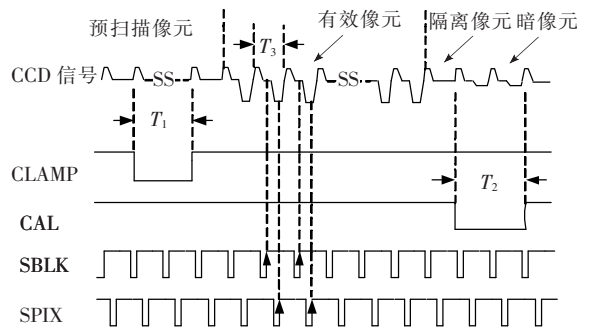


图 2 XRD98L59 工作时序
Fig. 2 Timing of video signal processor XRD98L59

CDS 模块将两次采样值相减,抑制了 CCD 信号中的复位噪声和共模噪声^[6-7],同时这两个信号产生内部时钟,实现 A/D 量化。

2.3 XRD98L59 内部控制寄存器

通过串行数据接口(SCLK、SDI 和 SLOAD),用户可以对内部控制寄存器进行设置,与暗电平自动校正相关的内部寄存器包括:目标偏置值(Target offset)寄存器、校正控制(Calibration)寄存器、细校(FDAC)寄存器、粗校(CDAC)寄存器和增益(Gain)寄存器。

目标偏置值寄存器用于设置目标偏置值,参数范围为 02H~3FH;校正控制寄存器设置暗电平自动校正模式开或关;自动校正模式开时,偏置校正逻辑根据目标偏置值与 CCD 暗像元量化值的比较结果,调整粗校寄存器和细校寄存器的值,最终使两者相等,动态消除 CCD 暗电流影响;自动校正模式关时,偏置校正逻辑不工作,用户可以手动设置粗校寄存器和细校寄存器的值,但是手动实现 CCD 暗电流补偿存在较大困难,因此一般情况下均采用自动校正模式。

粗校寄存器是位于第一级放大器前端的 4 位的 DAC 器件,通过设置 4 位寄存器的值,叠加 $-137.5\sim+50$ mV 直流偏置信号在 CCD 信号上。细校寄存器是位于第二级放大器前端的 10 位的 DAC 器件,在增益 00H 时细校寄存器 1 个 LSB 的变化对应 ADC 输出 0.164 个 LSB 的变化。

增益寄存器同时控制 PGA₁和PGA₂两级放大器,参数范围为 00H~FFH,两级放大器一起最大实现 37.875 dB 的放大,增益参数与放大器倍数的对应关系见表 1。

表 1 增益参数与放大器倍数对应关系

Table 1 Values of gain versus times of amplifiers

增益参数	第一级放大器	第二级放大器
	放大倍数(dB)	放大倍数(dB)
00H~3FH	0	6+D/8
40H~7FH	8	D/8-2
80H~FFH	16	D/8-10

2.4 暗电平自动校正过程

视频处理器内部偏置校正逻辑在 CAL 信号有效时采集 ADC 输出值(即 CCD 暗像元的量化值),去除“热点”并求平均值后,与目标偏置值进行比较。根据比较结果,首先控制细校寄存器递增或递减。当细校寄存器达到极值时,如果 CCD 暗像元量化值与目标偏置值仍不相等,则细校寄存器复位,同时增大或减少粗校寄存器的值,再进行一轮细校过程。如此交替直到 CCD 暗像元的量化值与目标偏置值相等为止^[8]。

由于暗电平自动校正过程改变了粗校寄存器和细校寄存器的值,相当于在输入信号上叠加了一个变化的信号,不仅影响了 CCD 暗像元的量化值,同时也影响了 CCD 有效像素的量化值。细校寄存器的递增或递减使输出图像灰度值出现“渐变”现象,当细校寄存器复位、粗校寄存器改变时,输出图像就出现了灰度值“突变”现象。图 3 给出了在目标光亮度不变的情况下,增益寄存器设置为 80H 时开始阶段的图像,横向由 8 个通道拼接而成,每个通道对应 1 片视频处理器。8 个视频处理器输出图像均出现了灰度值“渐变”和“突变”现象。

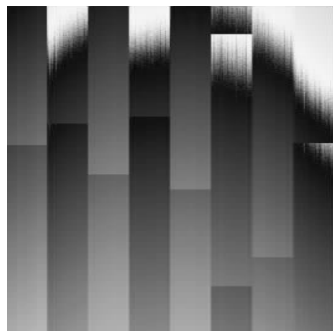


图 3 灰度值“渐变”和“突变”的图像

Fig. 3 Image of grey value varying “slowly” and “sharply”

2.5 建立暗电平自动校正模型

根据 2.1 节 XRD98L59 的内部结构分析,

CCD 视频信号经过 CDS 电路后,信号电平与参考电平相减得到了 CCD 信号幅值 V_{CCD} ,即:

$$V_{\text{CCD}} = V_{\text{BLK}} - V_{\text{PIX}} \tag{1}$$

V_{CCD} 叠加上粗校寄存器输出的偏置电压,经 PGA_1 放大后,再叠加上细校寄存器输出的偏置电压,最后经 PGA_2 放大送入到 ADC 输入端,因此 ADC 输入端的信号幅值 V_{in} 可表示为:

$$V_{\text{in}} = [(V_{\text{CCD}} + V_{\text{C}}) \times G_1 + V_{\text{F}}] \times G_2 \tag{2}$$

式中 V_{in} 为 ADC 输入端信号幅值; V_{CCD} 为 CCD 信号幅值; V_{C} 为粗校寄存器输出偏置电压值; V_{F} 为细校寄存器输出偏置电压值; G_1 和 G_2 分别是 PGA_1 和 PGA_2 的放大倍数。

ADC 的量化精度为 10 bit,量化模型可用公式(3)表示:

$$V_{\text{out}} = 1\,023 \times \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{CC}}/1.3 - V_{\text{CC}}/10} \tag{3}$$

式中 V_{out} 为 ADC 输出的量化值; V_{CC} 为 XRD98L59 的电源电压值。

综合式(1)、(2)、(3),XRD98L59 实现 CCD 信号量化的数学模型为:

$$V_{\text{out}} = 1\,023 \times \frac{[(V_{\text{BLK}} - V_{\text{PIX}}) + V_{\text{C}}] \times G_1 \times G_2 + V_{\text{F}} \times G_2}{V_{\text{CC}}/1.3 - V_{\text{CC}}/10} \tag{4}$$

XRD98L59 刚上电时,粗校寄存器和细校寄存器输出初始偏置电压值,CCD 暗像元的量化值由式(4)可得:

$$D_{\text{暗初}} = 1\,023 \times \frac{[(V_{\text{BLK暗}} - V_{\text{PIX暗}}) + V_{\text{C初}}] \times G_1 \times G_2 + V_{\text{F初}} \times G_2}{V_{\text{CC}}/1.3 - V_{\text{CC}}/10} \tag{5}$$

式中 $D_{\text{暗初}}$ 为 XRD98L59 刚上电时 CCD 暗像元的量化值; $V_{\text{BLK暗}}$ 和 $V_{\text{PIX暗}}$ 分别为 CCD 暗像元的参考信号电平和像素信号电平; $V_{\text{C初}}$ 和 $V_{\text{F初}}$ 分别为粗校寄存器和细校寄存器初始值输出的偏置电压值。

偏置校正逻辑比较目标偏置值与 CCD 暗像元的量化值,根据比较结果调整粗校寄存器和细校寄存器的值,最终使 CCD 暗像元量化值与目标偏置值相等,完成暗电平自动校正,则 XRD98L59 完成暗电平自动校正需要的图像行数为:

$$L = \frac{P_{\text{T}} - D_{\text{暗初}}}{\nu_{\text{校}}} \tag{6}$$

式中 L 为完成暗电平自动校正需要的图像行数;

P_T 为目标偏置值; $\nu_{校}$ 为校正的速度。

CCD 暗像元信号幅值(CCD 暗电流造成)可以通过测量得到,如果再知道偏置电压值 $V_{C初}$ 和 $V_{F初}$,以及暗电平校正速度 $\nu_{校}$,则根据式(5)和式(6)就可以计算出视频处理器 XRD98L59 完成暗电平自动校正需要的图像行数。

3 XRD98L59 仿真测试系统

设计 XRD98L59 仿真测试目标板,通过实验的方法得到偏置电压值 $V_{C初}$ 和 $V_{F初}$,以及暗电平校正速度 $\nu_{校}$ 。仿真测试目标板结构如图 4 所示。

利用 CPLD 作为控制器,可通过 RS-422 电路与计算机进行通讯,根据计算机的指令,控制 D/A 芯片产生任意幅值的 CCD 仿真信号,对视频处理器进行参数配置,产生视频处理器的工作时序,并将 CCD 仿真信号量化值打包发送给计算机。

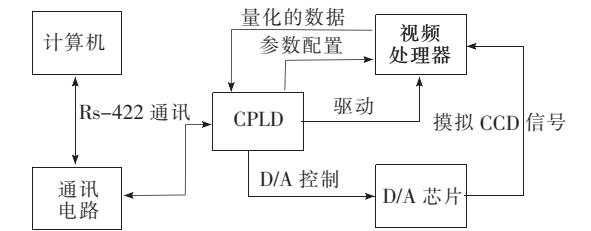


图 4 XRD98L59 仿真测试目标板

Fig. 4 Test circuit board for XRD98L59

4 实验结果

4.1 粗校寄存器和细校寄存器的初始值

控制 D/A 产生 CCD 仿真信号(幅值为 V_M),增益参数设置为 00H,XRD98L59 输出灰度值 177,根据 CCD 信号量化的数学模型式(4),则有:

$$177 = 1\,023 \times \frac{(V_M + V_C) \times 1 \times 2 + V_F \times 2}{V_{CC}/1.3 - V_{CC}/10} \tag{7}$$

控制 D/A 产生 CCD 仿真信号(幅值为 $1.5V_M$),增益参数分别设置为 00H 和 40H,XRD98L59 输出灰度值分别为 285 和 689,有:

$$285 = 1\,023 \times \frac{(1.5 V_M + V_C) \times 1 \times 2 + V_F \times 2}{V_{CC}/1.3 - V_{CC}/10} \tag{8}$$

$$689 = 1\,023 \times \frac{(1.5 V_M + V_C) \times 2.5 \times 2 + V_F \times 2}{V_{CC}/1.3 - V_{CC}/10} \tag{9}$$

联立式(7)、(8)、(9),解方程可得:

$$1\,023 \times \frac{V_C}{V_{CC}/1.3 - V_{CC}/10} = -25 \tag{10}$$
$$1\,023 \times \frac{V_F}{V_{CC}/1.3 - V_{CC}/10} = +5.5 \tag{11}$$

由于 V_{CC} 为 3.3 V,可得粗校寄存器初始值为 07H,细校寄存器初始值约为 249H。

4.2 暗电平校正速度

视频处理器暗电平校正过程存在加速模式和慢速模式,默认情况下为加速模式,但当目标偏置值与 CCD 暗像元的量化值的偏差不大于 32 时,自动采用慢速模式。设置增益参数 00H,CAL 钳位的暗像元个数 4,分别采用加速模式和慢速模式,测试图像灰度值的变化速度。在加速模式时,图像灰度值平均每行变化 0.57 个 LSB,在慢速模式时,图像灰度值平均每行变化 0.014 6 个 LSB,加速模式的校正速度约为慢速模式的 39 倍。

在加速模式时,CAL 钳位的暗像元个数为 4,分别设置不同的增益参数观察校正速度的变化情况,实验发现,增益参数对校正速度影响不大,图像灰度值平均每行变化 0.6 个码(偏差 $\pm 10\%$)。

在加速模式时,固定增益参数为 00H,分别设置 CCD 暗像元个数为 2、4、6,其他工作时序不变,观察校正速度的变化情况,统计结果如图 5 所示。

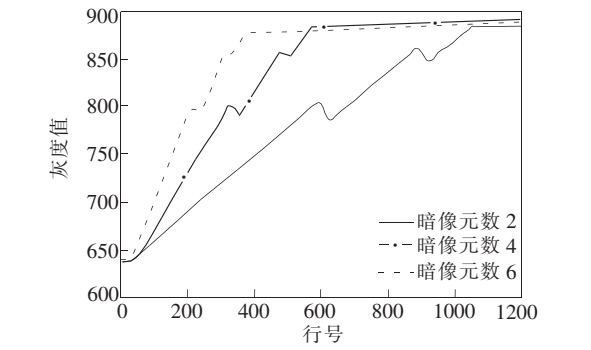


图 5 校正速度与 CCD 暗像元个数的关系

Fig. 5 Speed of correction versus number of OB pixels

校正速度与 CCD 暗像元个数成正比关系,CCD 暗像元个数越多,校正速度越快。

综上所述,暗电平校正速度在加速模式时可用式(10)表示:

$$\nu_{校} = m \times \frac{0.6}{4} \text{ (偏差 } \pm 10\%) \tag{12}$$

式中 m 为 CAL 钳位 CCD 暗像元的个数。慢速模式时,暗电平校正速度降低到加速模式的 $1/39$ 。

4.3 实验验证

设置目标偏置值为 3,增益为 80H,CCD 暗像元信号幅值为 2 mV,CCD 暗像元个数为 4,固定目标光亮度不变进行拍摄实验,发现前 19 220 行图像出现了灰度值“渐变”和“突变”现象,之后灰度值稳定输出。

根据式(5),XRD98L59 刚上电时 CCD 暗像元的量化值为:

$$D_{\text{暗初}} = 1\,023 \times \frac{(2\text{mV} + V_{\text{C初}}) \times 6.25 \times 2 + V_{\text{F初}} \times 2}{V_{\text{CC}}/1.3 - V_{\text{CC}}/10} \quad (13)$$

将 4.1 节中的计算结果式(10)和式(11)代入式(13)得到 $D_{\text{暗初}} = -289$ (实际 ADC 输出为 0)。

将 $D_{\text{暗初}} = -289$ 代入式(6)可得:

$$L = \frac{3 - (-289)}{\nu_{\text{校}}} = \frac{292}{\nu_{\text{校}}} \quad (14)$$

目标偏置值与 CCD 暗像元量化值偏差为 3 (小于 32),则视频处理器暗电平自动校正一直工作在慢速模式,又因为 CCD 暗像元个数为 4,根据式(12)得到:

$$\nu_{\text{校}} = 4 \times \frac{0.6}{4} \times \frac{1}{39} = \frac{0.6}{39} \text{ (偏差} \pm 10\%) \quad (15)$$

将式(15)代入式(14)得到:

$$L = 18\,980 \text{ (偏差} \pm 10\%)$$

即理论上 XRD98L59 需要 17 082~20 878 行图像完成暗电平自动校正,与实验结果 19 220 行相吻合,验证了校正模型的正确性。

相机系统正常拍摄时,目标偏置值设置为 03H,增益参数不超过 7FH,CCD 器件暗电平约为 3 mV,CAL 钳位的 CCD 暗像元个数为 4,根据暗电平自动校正模型计算,得到 XRD98L59 需要 15 751~19 251 行图像完成暗电平自动校正过程,同时相机工作行频为 5 kHz,所以完成暗电平自动校正需要的时间为:

$$T = \frac{15\,751 \text{ 行} \sim 19\,251 \text{ 行}}{5\,000 \text{ 行/s}} = 3.15 \sim 3.85 \text{ s} \quad (16)$$

据此将相机系统准备时间延长为 5 s,拍摄图像中再未出现灰度值“渐变”和“突变”现象。

5 结 论

以 XRD98L5 为研究对象,对视频处理器内部结构和暗电平自动校正过程进行分析,建立了视频处理器暗电平自动校正过程的数学模型,通过实验确定了模型中各项参数的值,并验证了模型的正确性。根据模型计算结果,将相机系统准备时间延长为 5 s,解决了当增益参数设置较大时,拍摄图像开始阶段出现灰度值“渐变”和“突变”的问题。

参 考 文 献:

[1] 周辉,陶宏江,任建岳,等. 基于行间转移 CCD 场输出模式下成像系统设计 [J]. 液晶与显示,2009,24(1):121-125.
[2] 李云飞,李敏杰,司国良,等. TDI-CCD 图像传感器的噪声分析与处理 [J]. 光学精密工程,2007,15(8):1196-1202.
[3] 郝贤鹏,任建岳. TDICCD 的低噪声视频处理技术 [J]. 光学精密工程,2008,16(10):1870-1873.
[4] 任航,张涛. 使用可交换带通滤波器的相关双采样法. [J]. 光学精密工程,2008,16(10):2021-2028
[5] 王世峰,赵馨,佟守峰,等. CCD 输出信号处理电路的研究 [J]. 红外与激光工程,2007,36(9):311-313.
[6] 郭伟强,金龙旭,任建岳,等. 面阵 CCD 信号采集系统的噪声抑制 [J]. 发光学报,2008,29(1):204-207.
[7] 马岩,胡君,吴伟平. 基于 CCD 成像单元仿真测试系统的实时性实现. [J]. 液晶与显示,2008,23(2):200-204
[8] EXAR Corporation. XRD98L59 CCD image digitizer with CDS PGA and 10bit-A/D [R]. US,California, 2001.