

文章编号 1004-924X(2011)11-2791-09

## 面阵 CCD KAI-0340DM 高速相机的设计

余 达<sup>1,2\*</sup>, 郭永飞<sup>1</sup>, 周怀得<sup>1</sup>, 武星星<sup>1</sup>, 李广泽<sup>1</sup>, 吕世良<sup>1</sup>, 刘金国<sup>1</sup>

(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;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:**使用常规 CCD 设计了高速相机系统,并解决了相机高速工作方式下的一系列难题。介绍了行间转移面阵 CCD 芯片 KAI-0340DM 的工作原理,采用高度集成视频处理芯片来产生各高速时序信号;通过提高驱动芯片与线路板的热传导效率增加有效散热面积从而降低芯片的温升;建立了高速运放电路的自激振荡模型,并采用有效方法克服了自激振荡;采用串并转换的方法降低了数据整合的难度,通过压缩图像数据的消隐期对输出数据进行异步降频并使用 Camera Link 接口来传输数据。实验结果表明,该相机系统工作时驱动器温升仅 5.2℃,信噪比 >40 dB,动态范围不低于 60 dB,可在 4 种分辨率下工作,当分辨率为 640×480 时,可在时间延迟积分(TDI)方式下工作。当相机的分辨率为 228×164,帧频为 1 000 frame/s,基本满足高速摄像的应用要求。

**关键词:**CCD 相机;高速连续摄像;热传导;自激振荡模型;消隐期;异步降频

**中图分类号:**TN386.5;V447.3 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20111911.2791

## Design of high speed camera system with area-CCD KAI-0340DM

YU Da\*, GUO Yong-fei, ZHOU Huai-de, WU Xing-xing, LI Guang-Ze, LÜ Shi-liang, LIU Jin-guo

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

\* Corresponding author, E-mail: ciompyuda@163.com

**Abstract:** A camera system was designed by using conventional CCDs and several problems in a high-speed mode were saved. After introducing to the working principle of a interline array CCD KAI-0340DM, a highly integrated CCD signal processor was used to produce the high-speed timing signals. By improving the heat conduction efficiency between chip and board, the heat conduction area was enlarged so that temperature rising was reduced. A high-speed op-amp self-oscillation model was established, and the self-oscillation was overcome. Furthermore, the difficulty of data processing was reduced by the serial to parallel conversion. Finally, data was transmitted through Camera Link Interface, and output data were asynchronous depressed in frequency by compressing the blanking interval. The results show that the temperature has only gone up 5.2℃ when the camera system works; its signal to noise ratio is greater than 40 dB, and dynamic range is not less than 60 dB. The camera can

收稿日期:2010-09-13;修订日期:2010-11-18.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2008AA121803)

work under the four resolutions. When the camera's resolution is  $640 \times 480$ , it can work in the Time Delay Integral(TDI) mode. When it is  $228 \times 164$ , frame frequency is 1 000 frame/s, it can meet the camera's basic application requirements.

**Key words:** CCD camera; high-speed continuous photography; heat conduction; self-oscillation model; blanking period; asynchronous depressing frequency

## 1 引言

CCD 具有信号输出噪声低、动态范围大、量子效率高等优点<sup>[1]</sup>,随着 CCD 器件本身工艺水平的改进,其成像质量和器件本身可靠性也得到了进一步的改善和提高<sup>[2]</sup>,因此,CCD 在光电探测及成像领域获得了广泛应用<sup>[1-2]</sup>,尤其在各种非接触测量领域极受青睐<sup>[3]</sup>。根据阵列排布方式的不同,CCD 成像器件分为线阵和面阵两大类。

高速摄像机在科研、运动领域中有着广泛应用,是研究高速事件的重要设备<sup>[4]</sup>。在航空航天领域,美国已经成功应用高速相机实时测量飞行器的像移并进行像移补偿,取得了很好的成像效果<sup>[5]</sup>;在图像诊断领域,高速摄像亦用来研究汽车碰撞、物体破碎等运动摄像过程<sup>[6]</sup>。

目前实现高速摄像的主要方法有:(1)将大容量图像数据存储器集成在 CCD 内部,在摄像期间不需要把图像数据转移出去而是直接存储,待摄像结束后再陆续转移出去,由此能实现高速高分辨率摄像,但摄像时间有限;(2)增加输出信号的通道数量,在相同的分辨率和转移时钟情况下,把帧频提高到原来通道的数倍,此方法能实现高速高分辨率摄像且实时性好,但随着通道数的增加,整个相机结构庞大,且仍需把多路信号实时合成一幅完整的视频图像<sup>[7-8]</sup>; (3)在提高转移时钟频率的同时适当降低输出图像的分辨率。本设计采用常见的 CCD 芯片进行设计,克服了设计中一系列的难题,可在 4 种分辨率( $640 \times 480$ 、 $228 \times 480$ 、 $640 \times 164$  和  $228 \times 164$ )下工作,通过提高 CCD 的像素时钟和实现 CCD 的开窗工作方式,可实时采集并显示图像,使输出图像的分辨率为  $228 \times 164$  时,帧频可以达到 1 000 frame/s。

## 2 KAI-0340DM 的简介

KAI-0340DM 是柯达公司的一款行间转移 CCD 图像传感器,其内部结构如图 1 所示。最下

方的 4 行是挡光的黑像元行,上方的 488 行是感光像元行;在这 488 行像元中,最上方和最下方的 4 行作为缓冲行,因此实际有用的像元为 480 行;最大的像素时钟频率为 40 MHz,可以 4 种分辨率( $640 \times 480$ 、 $228 \times 480$ 、 $640 \times 164$  和  $228 \times 164$ )并以单或双输出通道工作方式下输出信号,每行输出的 CCD 信号,包括了 12 哑像素、24 个黑像素和 324 个感光像素<sup>[9]</sup>。

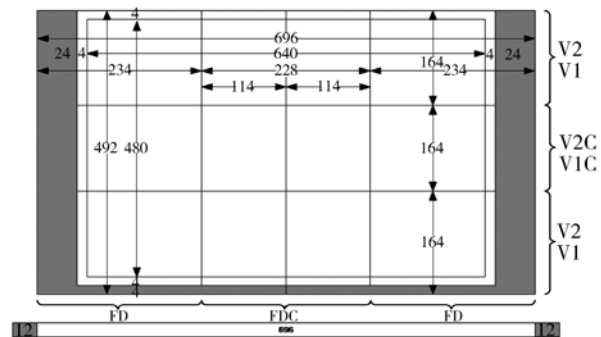


图 1 KAI-0340DM 结构示意图

Fig. 1 Structure of KAI-0340DM

KAI-0340DM 的工作原理是:感光区内的感生电荷在电子快门脉冲出现期间被清除,当电子快门脉冲消失后开始新的光积分阶段;当光积分结束后,垂直转移的三电平脉冲把感光区内的感生电荷整帧转移到挡光的存储区中,然后再逐行转移到水平移位寄存器中,最后把水平移位寄存器中的感生电荷逐个转移到输出端;在电荷从感光区转移到挡光的存储区期间,若 V2 和 V2C 都出现了相同的三电平信号,且 FD 和 FDC 都为低,则转移出的电荷为感光区内所有像素的感生电荷;若 V2 和 V2C 都出现了相同的三电平信号,且 FD 为低而 FDC 为高,则转移出的电荷为感光区中部的  $228 \times 480$  个像素的感生电荷;若 V2C 出现三电平信号 V2 没有出现,且 FD 和 FDC 都为低,则转移出的电荷为感光区中部  $640 \times 164$  个像素的感生电荷;V2C 出现三电平信号 V2 没有出现,且 FD 为低而 FDC 为高,则转移出的电荷为感光区中部的  $228 \times 164$  个像素的感生电荷。

### 3 高速相机图像采集系统设计

高速相机的工作原理是:镜头的像面耦合到 CCD 图像传感器的焦平面上,镜头视场内的目标将成像于 CCD 图像传感器的焦平面上,在 CCD 图像传感器的感光区产生的感生电荷数量与输入的光能量成线性关系;PC 机作为整个 CCD 相机系统的主控制器,它通过串口(RS232 或 RS422 接口)向控制器 1 发出各种命令:摄像开始、摄像结束、四种分辨率工作方式选择、视频处理器的相关参数相机工作相关命令和参数和 640×480 分辨率下的单级积分时间和积分级数;控制器 1 产生 CCD 图像传感器的垂直及电子快门时序信号,经垂直及电子快门驱动电路后输出垂直驱动信号和电子快门信号;同时,控制器 1 对视频信号处理

器和水平时序信号产生器进行控制,输出水平驱动时序信号并在视频信号处理器内部产生相关的视频处理信号;景物经镜头成像在 CCD 图像传感器上,感光区产生的电荷受垂直和水平转移信号控制,以 40 MHz 的像素时钟并以双通道方式输出,经预放大器后送入视频信号处理器进行视频处理,最终以双路位宽为 14 bit、时钟为 40 MHz 输出数字图像信号到控制器 2 中;控制器 2 在得到控制器 1 输出的控制信号后,使外部存储器单元工作在乒乓方式下,对视频处理器输出的两路图像数据信号进行数据整合并经降频处理,最终以 60 MHz 像素时钟 14 bit 位宽经 Camera Link 输出单元输出;Camera Link 输出单元输出的图像数据经 Camera Link 电缆传输到 PCIe 采集卡和显示设备上,进行图像数据的实时存储和显示,见图 2。

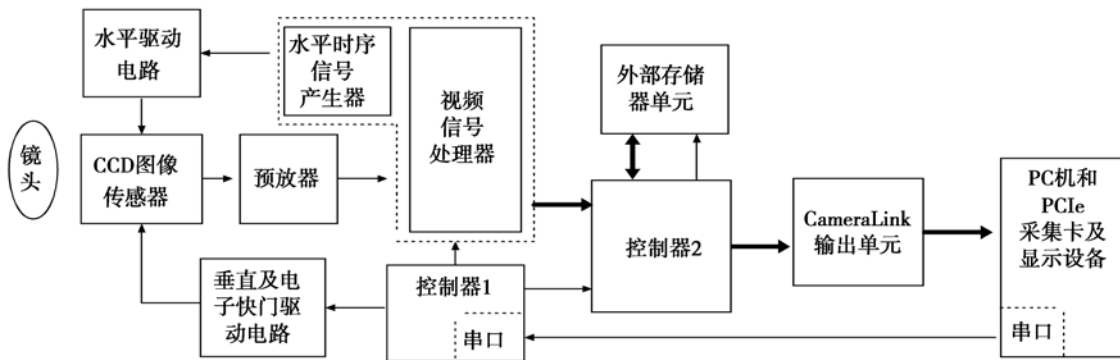


图 2 高速相机系统结构图

Fig. 2 Structure of high speed camera system

#### 3.1 高速水平时序信号和视频处理相关信号的产生

高速相机设计的难点之一是各驱动信号之间及 CCD 输出模拟视频信号和视频处理信号之间相位的精细调整,常见的视频处理芯片不能产生驱动信号和视频处理相关信号,需要由外部的控制器产生,当要求各信号相位精度为 0.4 ns 时,要求控制器的工作频率至少为 2.5 GHz,价格昂贵且功耗大。Analog Device 公司生产集成视频处理器 AD9979 芯片,水平时序信号的产生和视频处理集成在芯片内部,通过对内部寄存器的设置完成所有输出时序信号的控制,当像素时钟为

40 MHz 时各输出信号相位精度为 0.39 ns。AD9979 的内部结构框图如图 3 所示,ADC 的最高工作频率为 65 MHz,位宽为 14 bit;通过 I<sup>2</sup>C 接口对内部寄存器进行设置,在输入时钟 CLI 和控制信号 VD 及 HD 的控制下,内部精细时序核可产生水平时序信号和视频处理相关信号;当输入时钟频率为 65 MHz 时,输出信号相位精度为 0.24 ns<sup>[10]</sup>。本设计采用 AD9979 芯片,水平时序信号的产生和视频处理集成在芯片内部,通过对内部寄存器的设置完成所有输出时序信号的控制,当像素时钟为 40 MHz 时,各输出信号相位精度为 0.39 ns。

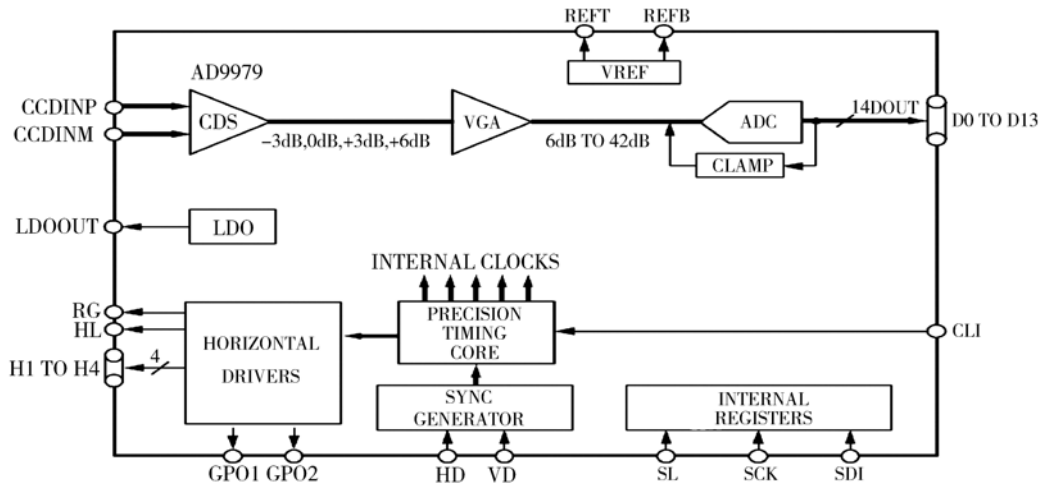


图 3 AD9979 内部结构示意图

Fig. 3 Structure of AD9979

### 3.2 时序信号的驱动高速水平时序信号驱动器的散热

高速相机设计的难点之二是水平时序信号驱动器散热,常用见驱动器的功耗为

$$PD = V_s \times I_s + C_{INT} \times V_s^2 \times f + C_L \times V_{OUT}^2 \times f, \quad (1)$$

其中,  $PD$  为功耗,  $V_s$  为供电电源对地电压,  $I_s$  为静态工作电流,  $C_{INT}$  驱动芯片的内部负载,  $f$  为工作频率,  $C_L$  为驱动器所接的外部负载<sup>[12]</sup>; 驱动器的功耗和工作频率成线性关系, 工作频率越高, 功耗越大, 若散热不良可导致芯片不能正常工作甚至烧毁芯片。热控的主要思想是增加器件位置的热容, 吸收器件热量, 缓解快速升温, 同时尽可能减小散热通道热阻, 使散热通道温差最小<sup>[11]</sup>; 本设计根据傅里叶定律

$$PD = \lambda AT_r, \quad (2)$$

其中  $\lambda$  为导热系数,  $T_r$  芯片上升的温度,  $A$  为散热面积越大, 温升越小; 本设计中温升与面积成反比的关系, 使采用热阻小的 QFN 封装水平时钟驱动器, 并将其底部的散热金属底座和线路板上大面积地焊接在一起, 由于金属的导热系数极大, 可忽略芯片散热底座和线路板大面积地之间的热阻, 使散热面积成倍增加, 芯片在相同的功耗下温升可大大降低, 经测试在相机工作时驱动器温升仅  $5.2^\circ\text{C}$ 。

### 3.3 高速运放的自激振荡模型和解决办法

高速相机设计的难点之三是运放电路的设

计, CCD 像素时钟很高, 高像素时钟要求运放带宽很宽, 在很宽的频带范围内增益仍很高; 如图 4 所示, 运放负反馈放大电路产生自激振荡的根本

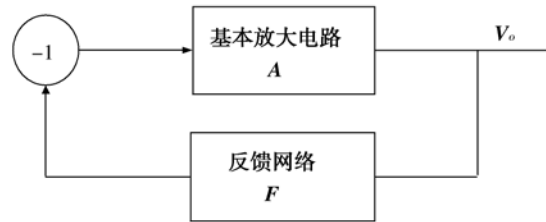


图 4 负反馈放大电路的自激振荡模型

Fig. 4 Self-excited oscillation of negative feedback circuit model

原因之一是  $AF$  的附加相移, 如图 4 所示, 当  $-AF=1$  时, 则放大电路将可能产生自激振荡。由于运放内部结电容、分布电容的影响, 随着信号频率的增加, 运放增益将下降, 而且产生了附加像移  $\phi_a(\omega)$ <sup>[13]</sup>; 由于高频情况下分布参数的影响, 反馈网络中也会产生附加像移  $\phi_f(\omega)$ , 整个环路产生的附加相移

$$\psi(\omega) = \phi_a(\omega) + \phi_f(\omega). \quad (3)$$

如图 5(a) 所示, 对于理想的运放电路, 其反馈系数和反馈电路产生的附加相移分别为

$$F(j\omega) = \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \phi_f(\omega) = 0, \quad (4)$$

反馈回路没产生附加相移, 而通常运放内部已进行相移补偿, 不会产生自激振荡。

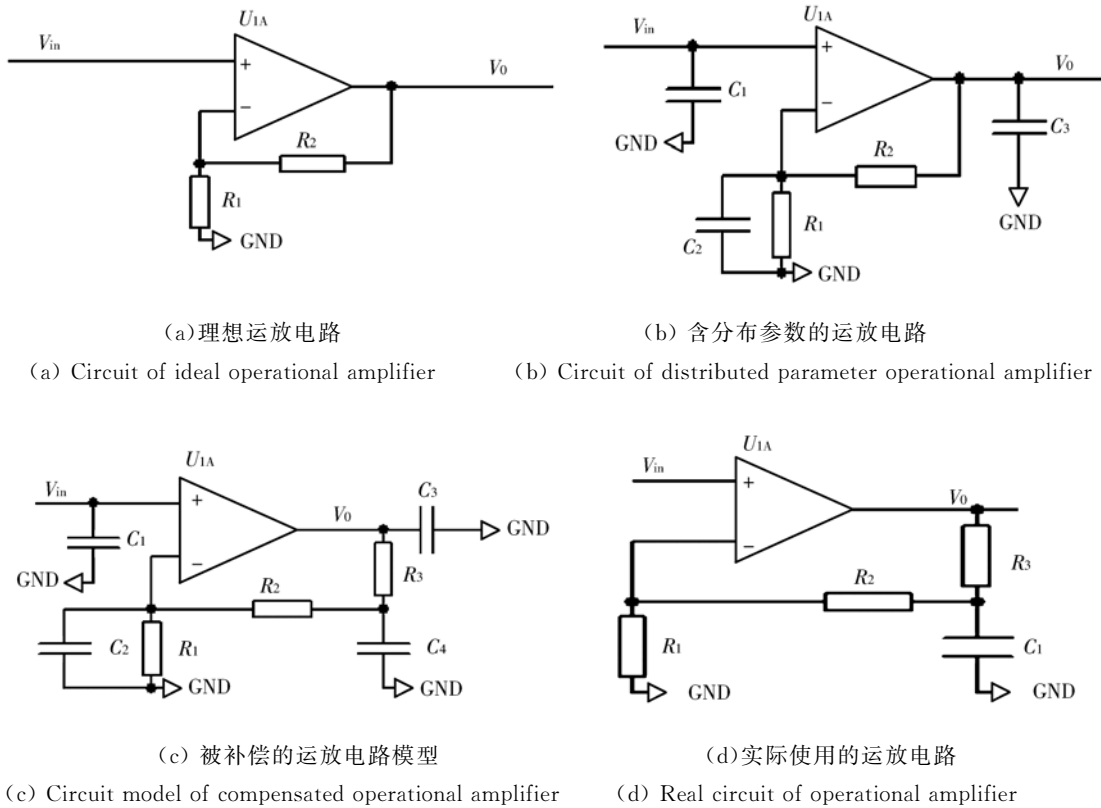


图 5 高速运放电路模型

Fig. 5 Circuit models of high speed operational amplifier

如图 5(b) 所示, 考虑到电路的分布参数时, 其反馈系数和反馈电路产生的附加相移为

$$\begin{cases} F(j\omega) = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + j\omega R_1 R_2 c_2} \\ \psi_f(\omega) = -\arctan \frac{\omega c_2 R_1 R_2}{(R_1 + R_2)} \end{cases} \quad (5)$$

反馈电路产生的附加相移值  $\psi_f(\omega)$  为一直为负, 而且其绝对值随频率的增大而增大, 当附加相移  $\psi(\omega)$  为  $\pi$  的奇数倍时出现自激;

如图 5(c) 所示, 当在运放电路中增加补偿电路时, 其反馈系数和反馈电路产生的附加相移为

$$\begin{cases} F(j\omega) = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 - \omega^2 R_1 R_2 R_3 c_2 c_4 + j\omega(R_1 R_2 c_2 + R_1 R_3 c_4 + R_1 R_3 c_2 + R_2 R_3 c_4)} \\ \psi_f(\omega) = -\arctan \frac{\omega(R_1 R_2 c_2 + R_1 R_3 c_4 + R_1 R_3 c_2 + R_2 R_3 c_4)}{R_1 + R_2 R_3 - \omega^2 R_1 R_2 R_3 c_2 c_4} \end{cases} \quad (6)$$

当频率小于  $\omega_c$  时刚开始反馈电路产生的附加相移为负, 当在频率超过  $\omega_c$  开始变为正,

$$\omega_c = \sqrt{\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 R_2 R_3 c_2 c_4}} \quad (7)$$

补偿电路改变了原反馈电路的相移值, 在反馈系数中增加了一补偿极点  $\omega_c$ , 因补偿极点对附加相移的贡献以致在新的环路相移  $\psi(\omega)$  为  $\pi$  的奇数倍时环路增益小于 1, 从而使电路稳定地工作<sup>[14]</sup>; 由于  $R_3$  的值很小, 所以增加频率补偿电路后电路的增益变化很小。本设计采用了如图 5(d) 的频率补偿电路, 并避免出现自激的方法是合

理选择运放的带宽, 满足应用要求就行; 在电路板布局布线时尽量避免运放管脚分布电容的产生; 在运放电路中加入频率补偿电路, 经测试运放工作状态稳定, 无自激现象。

### 3.4 高速图像数据处理

高速相机设计的难点之四是双路高速图像数据的整合和输出数据的传输。若直接把两路输入的 40 MHz 位宽为 14 bit 的图像数据进行数据整合对控制器和存储器要求高, 增加了成本; 双路转单路的合并, 则进行数据整合的时钟为 80 MHz, 使用外部异步存储器时需要控制器产生精细的控

制信号;使用外部同步存储器或控制器内部的存储资源时成本很高;若直接将 CCD 图像数据以单路 14 bit 输出时,像素时钟为 80 MHz,若采用 LVDS 传输数据时,至少需要 17 对差分线进行传输,线缆数量多体积臃肿;当使用 Camera Link 接口来传输数据时,仅需要 5 对差分线来传送数据<sup>[15]</sup>,但根据 Camera Link 协议,每对数据线上的数据传输速率为 560 Mbit/s,由于电磁场效应,各信号易相互干扰,无误码传输距离随频率的增加而变短,需特殊工艺制作电缆,成本高,对图像采集设备系统要求也高。

本设计中图像数据的处理流程如图 6 所示,将两路输入的 40 MHz 位宽为 14 bit 的图像数据串并转换为两路 20 MHz 位宽为 28 bit 的图像数据,数据整合的时钟仅为 40 MHz,可方便地把双

路图像数据写入外部的异步存储器中;在数据处理中引入异步时钟,通过压缩图像数据的消隐期对输出图像数据进行异步降频,在保证输出帧频和每帧有效数据量不变的情况下,降低了输出数据的时钟频率,以 30 MHz 时钟读出整合后的图像数据,经并串转换后最终以 60 MHz 输出数据,只需一根普通的 Camera Link 电缆就能稳定地传输数据,实时显示图像并存储到硬盘。

### 4 实验结果

调试中,水平转移时钟为 40 MHz,以双通道方式输出 CCD 信号,示波器为 DSO5054(采样频率为 4 GHz,带宽为 500 MHz)。图 7 为水平复位驱动信号实测波形,频率 40 MHz,脉宽 6.25 ns,

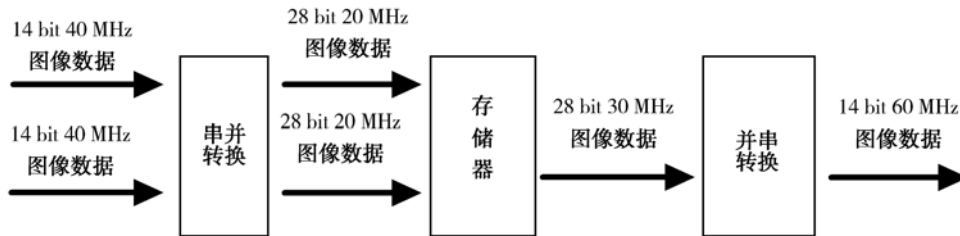


图 6 高速图像数据处理流程图

Fig. 6 Diagram of high speed digital data process

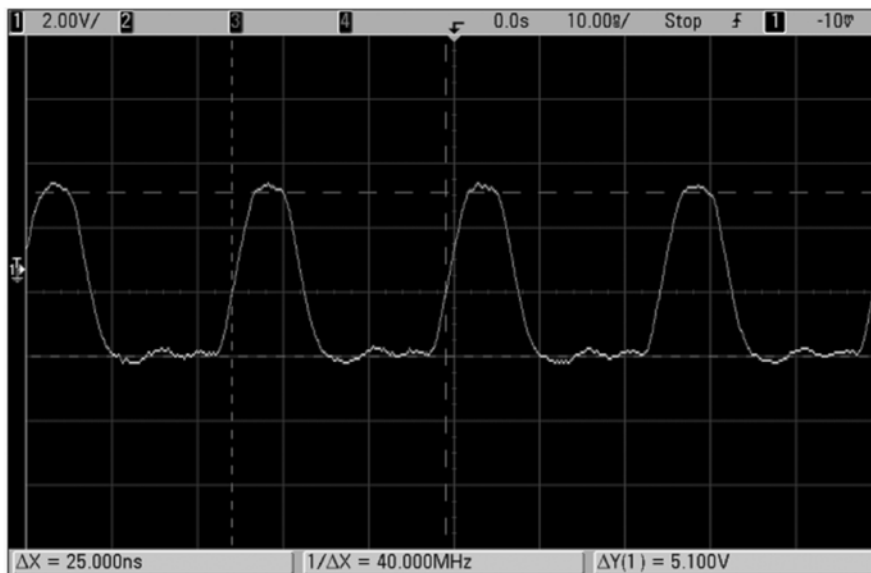


图 7 复位信号实测波形

Fig. 7 Real waveform of reset signal

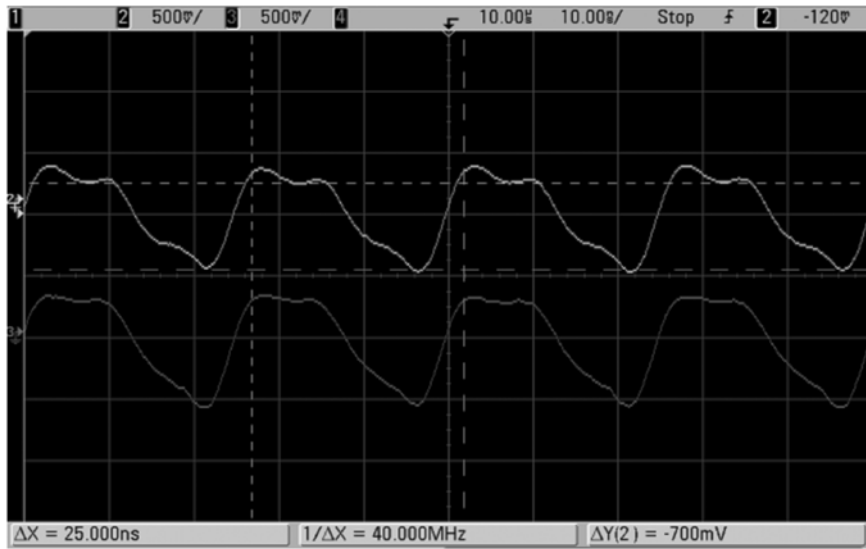


图 8 双路 CCD 输出信号实测波形

Fig. 8 Real waveform of two channel CCD output signal

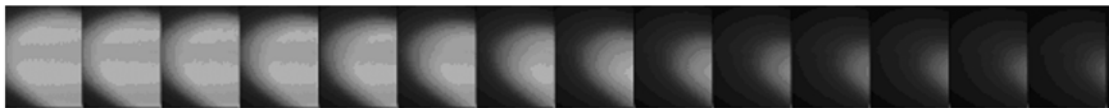


图 9 节能灯关灯瞬间的图像

Fig. 9 Image of fluorescent tube power-off moment

高低电平在器件的正常工作范围内;图 8 为双路输出的 CCD 信号,频率为 40 MHz,幅度为 0.7 V,无自激现象。

高速相机在全分辨率下,单级积分时间为 500  $\mu$ s,积分级数为 1 时帧频为 160 fps;当分辨率为 640 $\times$ 164 时,帧频为 498 fps;当分辨率为 228 $\times$ 480 时,帧频为 359 fps;当分辨率为 228 $\times$ 480 时,帧频为 1 000 fps;信噪比在 40 dB 以上,动态范围高于 60 dB;图 9 为当相机的分辨率为 228 $\times$ 164,帧频为 1 000 fps 拍摄到的节能灯灯管的一小段在关灯瞬间由亮逐渐变暗的过程。

## 5 结 论

本文根据科研、运动领域的高速摄像要求,采用常规 CCD 开窗和提高像素转移时钟的方法提高帧频,解决了设计中的一系列难题。采用集成视频处理芯片来产生各高速时序信号;介绍了行间转移面阵 CCD 芯片 KAI-0340DM 的工作原理;采用高度集成视频处理芯片产生各高速时序

信号;使用热阻小的驱动器封装,并把散热底座和线路板大面积地焊接在一起,通过提高驱动芯片与线路板的热传导效率、增加有效散热面积来降低芯片的温升,避免驱动器高速工作时功能失效甚至烧毁驱动器;建立了高速运放电路的自激振荡模型,探讨了高频工作下运放自激振荡的影响因素,并采用有效方法克服了自激振荡;采用串并转换的降频办法,降低了数据处理的工作频率,从而降低了数据整合的难度;通过压缩图像数据的消隐期对输出图像数据进行异步降频,在保证输出帧频和每帧有效数据量不变的情况下,降低了输出数据的时钟频率,并使用 Camera Link 接口来传输数据。实验结果表明,该相机系统工作稳定,驱动器温升仅 5.2 $^{\circ}$ C,运放无自激现象,信噪比大于 40 dB,动态范围不低于 60 dB,可在 4 种分辨率下工作;当分辨率为 640 $\times$ 480 时,可在 TDI 方式下工作,单级积分时间为 0.1~2 ms,积分级数为 1~6 级;当相机的分辨率为 228 $\times$ 164,帧频为 1 000 frame/s,基本满足高速摄像的应用要求。

## 参考文献:

- [1] 周怀得, 刘海英, 徐东, 等. 行间转移面阵 CCD 的 TDI 工作方式研究[J]. 光学精密工程, 2008, 16(9):1629-1634.  
ZHOU H D, LIU H Y, XU D, *et al.*. Study of TDI pattern for interline transfer progressive scan CCD[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(9):1629-1634. (in Chinese)
- [2] 刘金国, 余达, 周怀得, 等. 面阵 CCD 芯片 KAI-1010M 的高速驱动系统设计[J]. 光学精密工程, 2008, 16(9):1622-1628.  
LIU J G, YU D, ZHOU H D, *et al.*. Study of high speed driver system for area-CCD KAI-1010M[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(9):1622-1628. (in Chinese)
- [3] 陈骥, 王鑫, 曹久大, 等. 高速 CCD 激光位移传感器[J]. 光学精密工程, 2008, 16(4):611-616.  
CHEN J, WANG X, CAO J D, *et al.*. Development of high-speed CCD laser displacement sensor, [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(4):611-616. (in Chinese)
- [4] 李斌康, 郭明安, 张海兵, 等. 高帧频 CCD 图像远程实时采集方法及系统: 中国, 200910021209 [P]. 2009-08-05.  
LI B K, GUO M A, ZHANG H B, *et al.*. High frame rate CCD acquisition method and system for remote real-time :China, 200910021209, 5[P]2009-08-05.
- [5] 童子磊. CCD 相机的像移补偿技术[J]. 激光与红外, 2005, 35(9):628-632.  
TONG Z L. Compensation technology for the Image motion of CCD camera [J]. *Laser & Infrared*, 2005, 35(9):628-632. (in Chinese)
- [6] 王跃明, 薛永祺, 王建宇, 等. 高速数字化 CCD 摄像系统: 中国, 200510024983[P]. 2005-11-09.  
WANG Y M, XUE Y Q, WANG J Y, *et al.*. High-speed digital CCD camera system: China, 200510024983[P]. 2005-11-09. (in Chinese)
- [7] 李自田, 李长乐, 刘学斌, 等. 多抽头 CCD 输出图像数据实时合成装置: 中国, 200720032104[P]. 2007.  
LI Z T, LI CH L, LIU X B, *et al.*. Multi-tap CCD image data synthesis unit in real-time: China, 200720032104[P]. 2007.
- [8] 张达, 徐抒岩. 高速多通道 CCD 信号并行处理系统[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2008, 26(3):281-286.  
ZHANG D, XU SH Y. High-speed multi-channel CCD signal parallel processing system[J]. *J Jilin University(Information Science Edition)*, 2008, 26(3):281-286. (in Chinese)
- [9] Data sheet of: KODAK KAI-0340D Image Sensor 2004, Revision 1. 0 [Z].
- [10] Data sheet of: 14-Bit, CCD Signal Processor with Precision Timming Core AD9979 2007-2009, Rev C. [Z].
- [11] 罗志涛, 徐抒岩, 陈立恒. 大功率焦平面器件的热控制[J]. 光学精密工程, 2008, 16(11):2188-2192.  
LUO ZH T, XU SH Y, CHEN L H. Thermal control of high-power focal plane apparatus [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11):2188-2192. (in Chinese)
- [12] Elantec Semiconductor Inc. EL7156C Datasheet [OL]. <http://www.intersil.com>
- [13] 王泳涛. 集成运算放大器实用基础 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1984.  
WANG Y T. *Fundamentals of operational amplifier* [M]. Beijing: Chemical industry Press, 1984. (in Chinese)
- [14] 康华光, 陈大钦. 电子技术基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.  
KANG H G, CHEN D Q. *Fundamentals of Electronics* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1998. (in Chinese)
- [15] Specifications of the Camera Link Interface Standard for Digital Cameras and Frame Grabbers, 2004, Version 1. 1 [Z].

## 作者简介:



余 达(1980—),男,四川内江人,博士研究生,2007 年于吉林大学通信工程学院获得学士学位,主要研究方向为 CCD 相机设计和应用。E-mail: ciompyuda@163.com

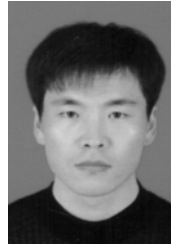


郭永飞(1961—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要研究方向为 SOPC 与嵌入式操作系统应用的研究。E-mail: guoyongfei@163.com





周怀得(1975—),男,四川射洪人,工学博士,副研究员,主要研究方向为传感器成像和数字图像处理。E-mail: gjszhd @sohu. com



吕世良(1974—),男,山东郯城人,博士,助理研究员,主要从事空间相机伺服控制、空间图像传感器应用、遥感成像及图像处理等方面的研究。E-mail: lvshiliang100 @sina. com



武星星(1980—),男,河南洛阳人,博士,副研究员,主要研究方向为空间光电技术及智能控制。E-mail: starglare @126. com

#### 副导师简介:



刘金国(1968—),男,吉林蛟河人,研究员,硕士生导师,主要研究方向为空间遥感相机成像传感器应用技术的研究。E-mail: liujg @ciomp. ac. cn



李广泽(1976—),男,吉林长春人,博士,副研究员,主要研究方向为精密测试技术及方法、空间传感器设计等。E-mail: lgzandrew @tom. com

#### ●下期预告

## 高性能谐振式微机械压力传感器

李玉欣,陈德勇,王军波,焦海龙,罗振宇

(中国科学院 电子学研究所 传感技术国家重点实验室,北京 100190)

为了提高压力传感器的精度和抑制温漂,提出了一种采用“H”型双端固支梁、电磁激励、差分检测的微机械谐振式压力传感器。首先,通过 FEM 分析模拟仿真优化传感器的机械参数,得到较高的灵敏度和分辨率。然后,基于浓硼扩散自停止腐蚀原理,采用了 MEMS 体硅标准工艺加工出一致性较好的传感器的成品。最后,采用非光敏 BCB 在真空高温高压的条件下将硅片与谐振器黏和键合(Adhesive Bonding)的方法完成了传感器的真空封装,并设计了应力隔离的后封装方法以降低温漂。实验结果表明:传感器的检测范围为 0~120 kPa;满量程非线性度低于 0.02%;准确度达到 0.05% FS;加入应力隔离后的-40℃~70℃的温度漂移不高于 0.05%/℃。该传感器能够实现大量程高精度的压力测量,有效的抑制了温漂,具有较高的性能指标。