

## 新型PA高帧频摄像机的设计与实现

郭明安, 李斌康, 郝文析, 阮林波, 冯兵

(西北核技术研究所 西安 710024)

**【摘要】**采用光敏二极管阵列固体图像传感器,设计研制了1000帧/s的高速PA摄像机,并对技术原理、PA图像传感器特点、连续和单次时序设计及图像传感器输出视频信号处理等方面作了介绍。PA视频摄像机可工作于连续和单次两种工作状态。采用纤维面板耦合,像素 $100 \times 100$ ;最小照度优于1.5勒克斯,动态范围100倍。

**关键词** 高帧频摄像机; PA图像传感器; 视频信号处理

**中图分类号** TP393.08 **文献标识码** A

## Design and Implementation of a New High-Frame Rate PA Camera

GUO Ming-an, LI Bin-kang, HAO Wen-xi, RUAN Lin-bo, FENG Bing

(Northwest Institute of Nuclear Technology xi'an 710024)

**Abstract** A high speed PA camera is implemented with a photodiode array image sensor of  $100 \times 100$  photodiodes. It can work both continuous-frame mode and single-frame mode, and allow video rates up to 1000 frames per second. The camera's minimum sensitivity precedes 1.5 Lux and optical dynamic range is 100 times. the PA image sensor characteristic, the design of driver timing and the video signal process are described in detail.

**Key words** high-frame rate camera; photodiode array image sensor; video signal process

在高速运动分析,高速物体追踪及高速变化过程图像的获取等科研领域中,需要高帧频的摄像机。目前,较成熟可用于高帧频摄像机的固体图像传感器有电荷耦合器件(CCD)、电荷注入器件(CID)、光敏二极管阵列(Photodiode Array, PA)及互补金属氧化物半导体(CMOS)等图像传感器等<sup>[1]</sup>。相比之下PA具有很强的耐过度曝光的能力,每个像元可在电荷积累的同时不经转移各自独立地进行电荷读出,积累的电荷不会溢出像元而引起图像弥散,光学入射窗采用光传输效率高的纤维面板耦合等特点<sup>[2]</sup>。正是基于PA器件的这些优点,设计基于光纤面板耦合的光敏二极管阵列固体图像传感器研制了1000帧/s的高帧频PA摄像机。本文介绍PA型高帧频摄像机的设计原理。

### 1 基本技术原理及实现

摄像机的原理如框图1所示。经光纤面板耦合成像在PA图像传感器光敏面上的景物光信息转换成模拟的图像信号,该图像信号在各种驱动信号及各组直流电源的作用下输出,经过前置放大,送到视频预处理电路。模拟信号的预处理包括双路信号复合,直流箝位,噪声处理等。经预处理以后的图像信号进入视频放大电路,可实现图像信号的放大,并混入同步信号,最后以全电视信号输出。基于现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)技术研制的高速时序电路,用来产生复合同步信号、复合消隐信号、箝位脉冲、图像预处理所需的采样保持脉冲信号以及PA传感器所需的各种时序信号。时序信号经驱动电路后加载

收稿日期: 2003-05-28

作者简介: 郭明安(1969-),男,硕士,工程师,主要从事核电子学及核辐射图像采集与处理方面的研究。

到传感器芯片。为了减小视频功率放大电路对芯片及前置小信号处理的影响,除了信号通道采用多级缓冲放大外,在电源电路设计上是分开供电的。

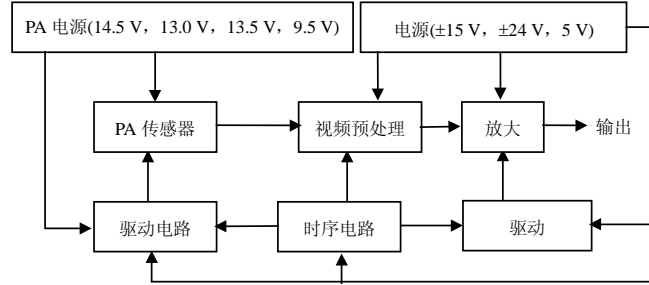


图1 摄像机原理图

### 1.1 PA图像传感器

高帧频摄像机中选用EG&G Reticon公司RA0100A型图像传感器<sup>[3]</sup>,它是 $100\text{ V} \times 100\text{ H}$ 像素的光敏二极管阵列如图2所示,由于不存在表面势,电荷信号不需经过多极转移而送到输出端,所以图像弥散和光损失很小,能够充分发挥出硅光敏二极管的固有灵敏度。PA型图像传感器由光敏二极管阵列、垂直移位寄存器、水平移位寄存器及控制器等部分构成。光敏二极管阵列把入射光子转化成电荷,一幅图像实际上是光子的一种特殊的排列,因此光敏二极管阵列可以通过入射的光子产生不同组合的电荷来记录图像。一旦电荷信号被存贮下来,它就可以通过转移脉冲被输送到芯片外部。在“行消隐”期间,一行的存贮电荷在垂直移位寄存器的控制下同时被转移到模拟移位寄存器中,然后通过驱动脉冲逐次移出该模拟寄存器,再进行放大及模拟处理。两个对称的水平移位寄存器,分别输出奇像素和偶像素信号,这种输出方式可以使信号读出的速度提高一倍。同样,为了提高芯片的帧频率,垂直移位寄存器选用“逐行扫描”方式,有效的缩短了帧图像的读取时间。

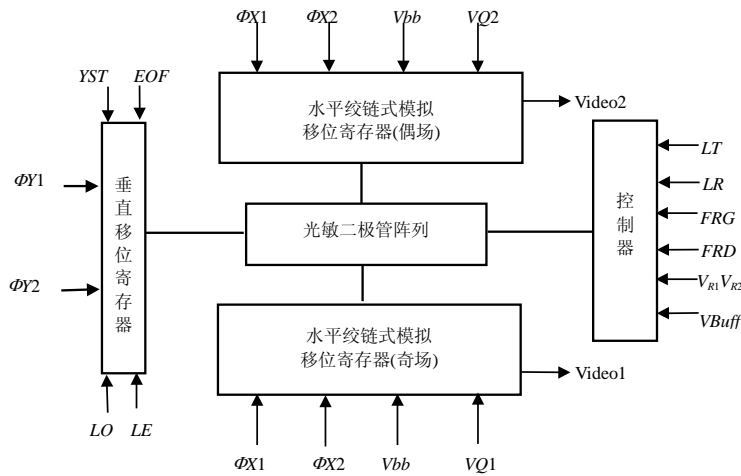


图2 PA传感器方框图

### 1.2 时序安排及驱动

本摄像机设计为可以工作于两种状态<sup>[4]</sup>,一种是连续工作方式,用于获取快速变化的连续图像信息;另一种是单次外同步触发方式,用于捕捉单次闪光图像,如脉冲射线源的二维图像诊断。两种工作方式下时序信号有所区别,摄像机设计由外部开关控制工作方式。各种时序由现场可编程门阵列(FPGA XC4003)在外部 $40.0\text{ MHz}$ 时钟激励下产生,并经过高速功率驱动器(MMH0026、EL7202)驱动。

摄像机连续工作的时序如图3所示。它需要两种互补的时序:即 $\Phi Y1$ 、 $\Phi Y2$ 驱动垂直移位寄存器, $\Phi X1$ 、 $\Phi X2$ 驱动两个水平移位寄存器;还需要一个 $LT$ 时钟控制电荷从视频线转移进水平移位寄存器;行复位时钟 $LR$ 是“抗晕漏”控制与 $\Phi X1$ 时序一样;复位控制时序 $V_{R1}$ 、 $V_{R2}$ 控制积分电荷的输出并分别与 $\Phi X1$ 、 $\Phi X2$ 时序

一致; 帧复位脉冲(*FRG*)、帧输出脉冲(*FRD*)及奇/偶像素选择脉冲(*LO/LE*)均为高电平。

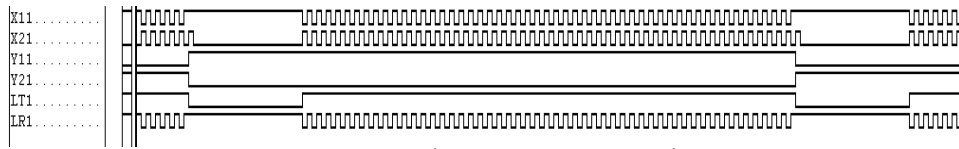


图3 PA高速摄像机连续工作行时序

PA像素 $100 \times 100$ , 时序安排行消隐时间占28像素, 每个像素的读出时间占80 ns, 得出一帧图像读出时间 $100 \times 128 \times 80$  ns, 即一帧图像的读出时间约为1 ms, 帧频1 000帧/s。所以,  $\Phi X1$ 、 $\Phi X2$ 频率 $1/(80 \times 2) = 6.25$  MHz; *LT*频率为 $(6.25 \text{ M} \times 2)/128 \approx 100$  kHz;  $\Phi Y1$ 、 $\Phi Y2$ 频率为 $100 \text{ kHz}/2 = 50$  kHz。

摄像机单次工作状态下时序设计如图4所示。摄像机单次工作的时序设计是通过控制(垂直移位寄存器禁止端)*YST*、(行复位脉冲)*LR*、(帧复位脉冲)*FRG*、(帧输出脉冲)*FRD*及(奇偶像素选择脉冲)*LO/LE*实现的。当*YST*有效(高电平)时, 摄像机在当前场视频信号全部读完后禁止PA芯片的读出。释放禁止端(低电平)*YST*将产生一帧新的扫描。

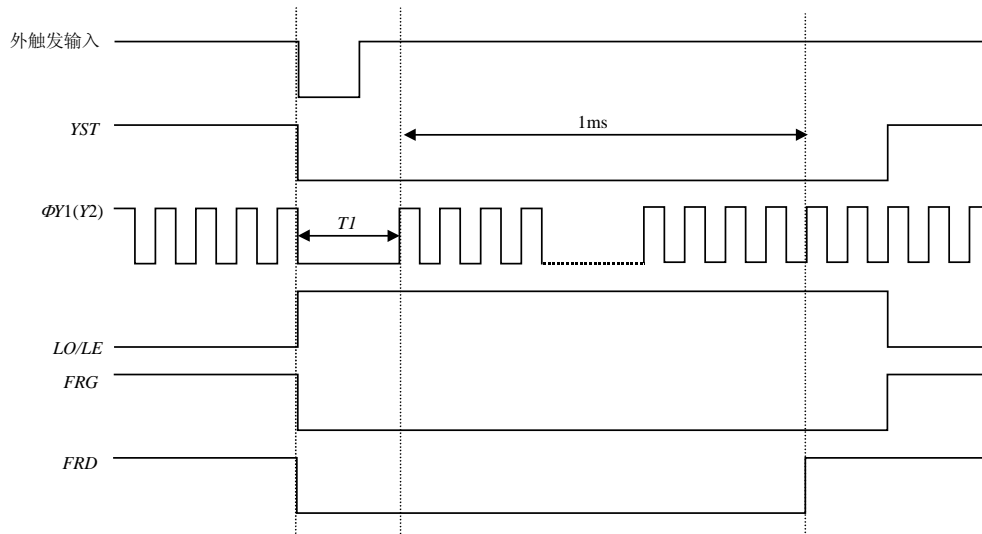


图4 PA高速摄像机单次工作时序

PA器件在外界触发脉冲到来之前一直处于等待状况, 禁止端*YST*一直有效(高电平), 垂直移位寄存器驱动脉冲 $\Phi Y1(\Phi Y2)$ 释放, 这两路信号的共同作用保证了摄像机在加电的瞬间( $>1$ 帧时间), 芯片已处于单次等待状态。奇偶行选择时序*LO(LE)*、帧复位及帧输出时序*FRG(FRD)*分别保持在低电平和高电平, 有效地抑制了PA芯片在单次等待期间的暗电流。单次触发后, *YST*、*LO(LE)*、*FRG(FRD)*全部释放(如图4所示),  $\Phi Y1(\Phi Y2)$ 禁止一段时间 $T1$ (消除瞬态工作起始时的干扰信号)以后, 摄像机从PA芯片的第一行拾取信号, 由时序图可以看到, *YST*保持低电平的时间大于一帧时间(1 ms)+延迟时间 $T1$ (约0.3 ms), 确保单次触发后的一场图像信号能被完全读出。*YST*由低电平恢复到高电平后, 摄像机进入下一轮单次等待周期。

### 1.3 视频信号处理

视频信号处理<sup>[5]</sup>包括视频预处理、视频功率放大及复合同步信号混合等环节。

前面提到PA型图像传感器电荷信号分奇像素和偶像素两路输出。输出的两路视频信号是调制在行复位时钟上的负极性信号, 理想的视频信号如图5所示, 阴影部分表示相应二极管上拾取的视频信号为0~2.5 V。由于PA器件固有的响应速度限制, 实际的视频输出信号半宽较小, 仅为理想的一半。直流电平、时钟载波及信号的极性 etc 不利于有用信号分离, 采用视频模拟预处理和实时采样保持等处理技术解决。视频信号处理电路原理如图6所示。从PA芯片输出的奇偶两路视频信号分别经过反向前置放大、本底切割及直流箝位后, 再进行双路视频信号复合, 经过复合的视频信号经功率放大后混入复合同步信号, 形成 $V_{p-p}$ 为20 V左右可进行长距离传输的全电视信号输出。

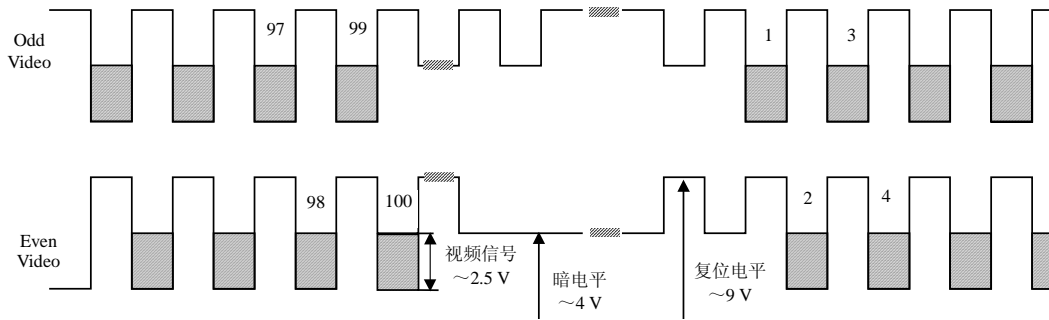


图5 2 kΩ负载上取出的典型视频信号

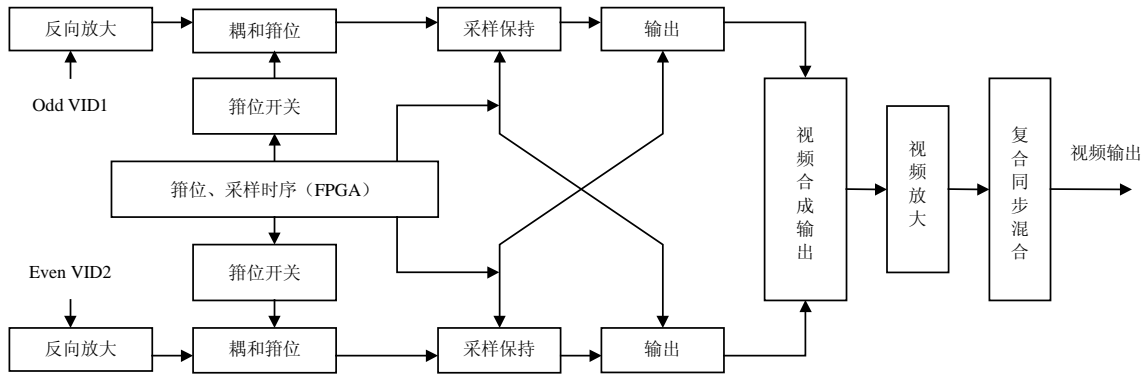


图6 视频信号处理电路原理

视频信号的复合是用高速DMOS FET模拟开关阵列(纳秒级)通过采样保持实现。由于两路视频输出相位差 $180^\circ$ ，在奇像素采样时，使偶像素保持输出，在偶像素采样时，使奇像素保持输出，就可以实现双路视频信号的复合。

## 2 主要技术指标

10 000像素组成 $100 \times 100$ 的面阵；像素面积 $60 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ ；帧频1 000帧/s；数据率10 MHz；最小照度1.5 Lux；动态范围100倍；视频幅度约20 V。其中，灵敏度和动态范围的测量可参考文献[6]。

## 3 结束语

PA高速摄像机，为高速物体的二维图像分析，特别是射线物理测量提供了一种切实可行的技术途径，并已取得良好效果。应用了高速固体PA图像传感器，其体积小，功耗低，外围电路简单，其良好的高频性能，使其完全适用于恶劣环境的高速图像采集。该系统还可广泛应用于超高速图像获取，生物医学图像，高速运动分析，高速物体跟踪，非接触测量，过程控制以及遥感等领域。

### 参 考 文 献

- [1] 袁祥辉. 固体图像传感器及应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
- [2] 刘继琨, 赵宝莹. 增强型CCD图像传感器[J]. 半导体光电, 1998, 19(1): 37-39
- [3] Image sensing and solid state camera products[Z]. 1995/1996. EG&G Reticon corp
- [4] Wang Kuilu, Li Binkang. Digital high-speed PDA camera[J]. SPIE Proceeding, 1995, 2 869: 418-421
- [5] Image sensing products[Z]. 1992/1993. EG&G Reticon corp
- [6] 谈新权, 梅晓英. 高分辨率CCD图像传感器及CCD摄像机的性能评价[J]. 光学技术, 1999, 1: 70-72