

数字摄像机像素驱动时序的抗光晕技术*

张行, 应三丛

(四川大学 电气信息学院 计算机学院, 四川 成都 610065)

摘要: 当景物中明暗亮度反差较大, 而 CCD 传感器曝光时间较长时, 图像中较亮部分将发生光晕现象。夜间行车, 汽车的强光灯照明会造成典型的光晕现象, 俗称“漏光”。光晕问题是 CCD 图像采集系统中的一大难题, 众多厂家、学者均在寻求最佳解决方案。分析了数字摄像机光晕现象产生的原因, 通过改变像素驱动时序, 消除强光区域的上部光晕带, 改善采集图像的质量。

关键词: CCD; 抗光晕; 像素驱动时序

中图分类号: TN911.74

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)14-0040-03

Antiblooming technology in pixels driving sequence design of digital camera

ZHANG Xing, YING San Cong

(College of Electrical Engineering and Information Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: When the scenery of brightness light contrasts shade, and CCD sensor exposure time is large, bright bloom in the image will happen. At night, the lamp lighting of car will cause the typical phenomenon, often are called "smear and blooming". The antiblooming of CCD system is a difficult problem, many factories, scholars are seeking the best solution. The reasons of CCD blooming are analyzed in this paper. By changing the pixels driving sequence, the top of bright blooming area is eliminated, and the image quality is improved.

Key words: CCD; antiblooming; pixels driving sequence

1 光晕产生的原理

要找到抗光晕的办法, 首先要分析其产生的原因。

CCD 的突出特点是以电荷作为信号, 而其他大多数器件是以电流或者电压为信号。CCD 的基本功能是信号电荷的产生、存储、传输和检测, CCD 的首要功能是完成光电转换, 即产生与入射的光谱辐射量度成线性关系的光电荷。当光照射到 CCD 硅片上时, 在栅极附近的半导体体内产生电子-空穴对, 其多数载流子被栅极电压排开, 少数载流子则被收集在势阱中形成信号电荷。光注入方式又可分为正面照射式与背面照射式。

CCD 在某一时刻所获得光电荷与前期所产生的光电荷进行累加, 称为电荷积分。入射光越强, 通过电荷积分所得到的光电荷量越大, 获得同等光电荷所需的积分时间越短。CCD 的光敏单元势阱中光注入电荷量的计算公式可表示为:

$$Q = \eta q \Delta n A T \quad (1)$$

式中, η 为材料的量子效率, q 为电子电荷量, Δn 为入射

光的光子流速率, A 为光敏单元的受光面积, T 为光注入时间。

由式(1)可知, 当 CCD 确定以后, η 、 q 及 A 均为常数, 注入到势阱中的信号电荷 Q 与入射光的光子流速率 Δn 及注入时间 T 成正比。注入时间 T 由 CCD 驱动器的转移脉冲的周期决定。当所设计的驱动器能够保证其注入时间稳定不变时, 注入到 CCD 势阱中的信号电荷只与入射辐射的光子流速率 Δn 成正比。在单色入射辐射时, 光注入的电荷量与入射的光谱辐射量度成线性关系。由于势阱中可容纳的最大信号电荷量 Q 一定, 当光谱辐射通量增大时, 曝光时间较长, 景物中亮度较强部分的图像就会发生光晕现象。如果缩短曝光时间, 可以改善光晕现象, 但这不是光晕现象的解决办法。

2 像素驱动时序分析

现以典型的彩色 CCD 传感器 ICX205AK 为例, 具体分析其像素驱动时序。其关键控制信号中, $V_{\Phi 1}$ 、 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 、 $V_{\Phi 3}$ 是垂直寄存器转移时钟, 并且 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 共同组成一相, 将光电转换结束后的电荷从光电二极管中读出到垂直 CCD; $H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$ 是电荷水平转移驱动时序的输入

* 基金项目: 国家“十一五”863 计划项目(2009AA01Z332)

管脚所提供水平转移时钟; ΦSUB 用于光电转换的光电二极管的复位驱动脉冲时序的输入管脚, 是衬底时钟, 实现电子快门控制, 脉冲的个数越多, 相应的感光时间越短, 从而实现曝光时间可调节; ΦRG 是复位脉冲输入端, 用于清除输出门的电荷。

2.1 读出及垂直驱动脉冲

读出及垂直转换脉冲主要用于完成光电积分、光电荷的读出及在垂直移位寄存器内的转移等任务。在场消隐期间, 四路垂直转移脉冲 ($V_{\Phi 1}$ 、 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 、 $V_{\Phi 3}$) 完成信号由光积分区向垂直移位寄存器的转移。转移脉冲如图 1 所示。转移完成后进入有效像敏单元信号的转移输出阶段, 输出有效像素单元的信号, 即在场正程期间, 逐行输出模拟信号。在行消隐期间, 在垂直转移脉冲 ($V_{\Phi 1}$ 、 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 、 $V_{\Phi 3}$) 的作用下由上向下移动一位, 将垂直移位寄存器的一行像元转移到水平寄存器中, ΦSUB 选通信号也配合着上述 4 个信号出现一个脉冲, 垂直移位寄存器和水平移位寄存器之间的通道接通, 这样, 每列电荷中的一个电荷就从垂直寄存器转移到水平移位寄存器中与之相对应的势阱中。此时, 水平转移脉冲 ($H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$) 保持不变, 如图 2 所示。

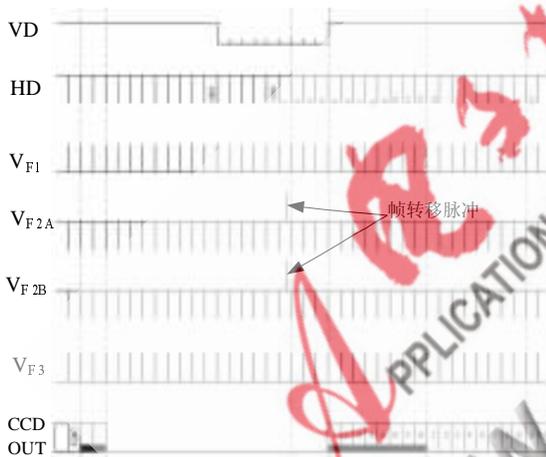


图 1 CCD 图像电荷信号向垂直移位寄存器的帧转移

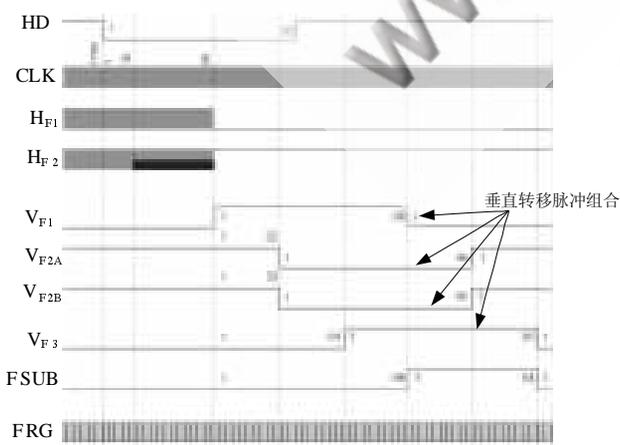


图 2 垂直移位寄存器一行像元向水平寄存器转移

2.2 水平转移脉冲

水平转移脉冲的主要作用是在 CCD 的水平移位寄存器内按一定时序交替形成势阱, 以驱动信号电荷在寄存器内移动, 最终移至输出电路。信号电荷从垂直移位寄存器转移到水平移位寄存器后, 在 $H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$ 的作用下逐步移至输出电路。CCD 一般要求水平转移脉冲 $H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$ 的周期相同, 相位相反, 其工作时序如图 3 所示。水平转移脉冲首先提供与 CCD 水平方向上的哑元信号相对应驱动脉冲 (图中的黑体部分), 而后连续输出若干个驱动脉冲, 用于驱动光电荷信号在水平移位寄存器中转移; 随后, 输出与 CCD 水平方向上的哑元信号相对应的驱动脉冲, 并进入行消隐期。在行消隐期内, $H_{\Phi 1}$ 持续为低电平, $H_{\Phi 2}$ 持续为高电平, 在场正程期间, $V_{\Phi 1}$ 、 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 、 $V_{\Phi 3}$ 保持不变, 进入水平寄存器中的信号在水平转移脉冲 ($H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$) 的作用下, 逐次从输出端输出。 $H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$ 以同基准时钟信号 CLK 相同的频率做脉冲信号, 其中, $H_{\Phi 1}$ 与 CLK 同相, 而 $H_{\Phi 2}$ 与 CLK 反相。这就使得它们控制下的水平移位寄存器由右向左地将其中的一行电荷信号一位一位地移出, 一个 $H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$ 周期对应着移出一个电荷, 直到一行电荷信号全部输出, 一个转移周期结束。接着是下一个转移周期, 再输出一行 CCD 的感光像元所积累的电荷。依此类推, 直至所有行都输出完毕。

2.3 复位 (ΦRG) 脉冲

每读出一个像素光电荷信号, 由复位脉冲 ΦRG 将输出放大器复位, 其时序如图 3 所示。RG 信号配合 $H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$, 在水平移位寄存器移出每一个电荷之前, 以相同的频率清除输出放大器的残余电荷, 将输出放大器的电荷探测端复位到参考电平。当 ΦRG 为高电平时, 复位管导通, 输出放大器被复位; ΦRG 为低电平时, 复位管截止, 光电荷转换为电压信号输出。RG 信号的占空比一般为 25% 左右。

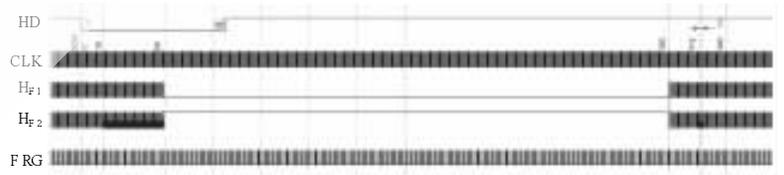
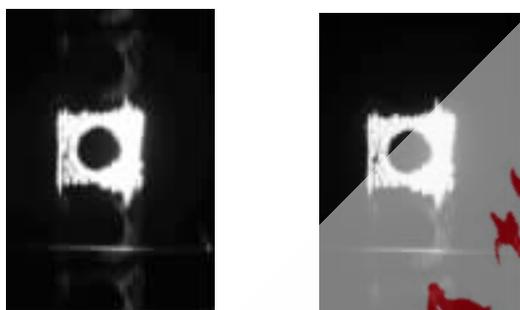


图 3 复位脉冲与水平驱动脉冲的时序关系

综上所述, CCD 传感器的成像像素转移可分 3 个过程: 首先, 在场消隐期间, 4 路垂直转移脉冲 ($V_{\Phi 1}$ 、 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 、 $V_{\Phi 3}$) 完成图像信号由光积分区向垂直移位寄存器的转移; 然后, 在场消隐期间, 在垂直转移脉冲 ($V_{\Phi 1}$ 、 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 、 $V_{\Phi 3}$) 及 ΦSUB 的作用下将垂直移位寄存器的一行像元转移到水平寄存器中; 每个行正程期间, 在水平转移时钟 $H_{\Phi 1}$ 、 $H_{\Phi 2}$ 驱动下, 进行像素级转移, 逐行输出 CCD 像素电压信号。以上三个过程周而复始, 最终呈现一帧一帧图像。

3 抗光晕设计与结果

经过大量试验测试及分析,发现光晕现象与成像像素转移过程有关。如图4(a)所示,以“LED照明灯”作为强光景物,强光区域的上下光带即光晕带,从光晕带显示内容可以看到明显的“LED照明灯”影像余辉,这说明即使不在强光LED照明灯区域的像素也显示有LED灯影像,这是成像像素在由上至下的转移过程中进入强光区域,并受到强光“污染”,最终被误显而造成的。强光区域下部的像素由上至下转移过程中没有经过强光区域,为什么光晕带上下都有呢?原因是像素经过强光区域后,“污染”像素感光太强,按行频的高速速度由上至下转移及重复,上一帧经过强光区域后的强光像素必然经过强光区域下部,导致没有经过强光区域的像素也会受到它们的重复“污染”,进而导致LED照明灯影像上下明显的光晕带。



(a) “LED照明灯”带光晕影像 (b) 抗光晕“LED照明灯”影像 (消除上部光晕带)

图4 两种LED照明灯的比较

CCD的硅衬底下都有一层N型衬底(N-substrate),当在N型衬底上加一个特定的正偏置电压时,在每个像素单元的旁边就可以形成纵向溢出漏沟道,通过这个漏沟道就可以排出像素单元中过量的光电荷或转移过程中残留的光电荷。 Φ_{SUB} 信号就是加在CCD芯片的衬底上的一个具有一定电压电平的脉冲信号,利用这个脉冲信号从衬底排出感光电荷载,控制势阱内感光电荷载的积累,进而控制光积分的时间,相当于光学相机的胶片曝光时间。这个控制光积分的脉冲也叫电荷复位脉冲,在这个脉冲产生后,CCD芯片上的每个像素都将复位,开始进行新一轮的电荷积累,直到积分结束帧转移的开始。CCD帧转移输出的仅仅是电荷复位脉冲产生后的光电荷信号,其余光电荷信号则被释放掉。

了解到像素转移的原理及其导致光晕的原因,对于摄像机抓拍图片的应用,采取针对性的解决办法,通过改变成像像素转移驱动时序,改善强光光晕现象。在抓拍图片时,首先通过高速倍频像素垂直转移驱动时序,垂直转移脉冲($V_{\Phi 1}$ 、 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 、 $V_{\Phi 3}$)及 Φ_{SUB} 脉冲的组合时序迅速向下转移像素电荷并多次重复, Φ_{SUB} 信号将感光太强的“漏光”像素基本释放完光电荷信号,这段时间内图像并不显示,然后抓拍“第一帧”图片,即强光区

域下部像素转移不受强光“污染”的“第一帧”图片。由FPGA实现的驱动时序波形如图5所示,图中垂直转移脉冲($V_{\Phi 1}$ 、 $V_{\Phi 2A}$ 、 $V_{\Phi 2B}$ 、 $V_{\Phi 3}$)及 Φ_{SUB} 脉冲高频出现,完成抗光晕时序。

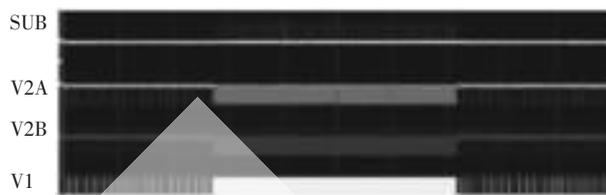
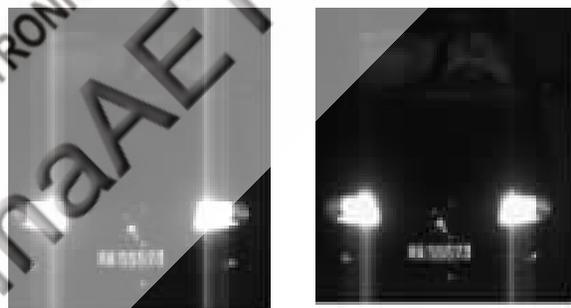


图5 抗光晕成像像素转移驱动时序

由于“第一帧”图片的下部像素未经过强光区域,未受上一帧强光区域转移像素“污染”,凡是经过了强光区域上部的像素,在抓拍的最后一帧图片中必然如实显示转移过程留下的光晕带。根据成像的倒像原理,抓拍的那帧图片最终显示上部光晕带基本消除,下部光晕带存在,经抗光晕处理后抓拍的“LED照明灯”影像如图4(b)所示。

将本抗光晕技术运用于自行研制的数字摄像机中,并实际应用于智能交通领域的车牌抓拍系统,经过晚间测试对比,效果如图6所示,图6(a)中的轿车大灯上部的光晕在图6(b)中基本消除。



(a) 带光晕影像的晚间驾驶抓拍图像 (b) 抗光晕的晚间驾驶抓拍图像

图6 效果对比

参考文献

- [1] 王庆有.图像传感器应用技术[M].北京:电子工业出版社,2006.
- [2] SONY Corp. ICX205AK Diagona8mm (Type 1/2) Progressive Scan CCD Image Sensor with Square Pixel for Color Cameras datasheet,2003.
- [3] 武利翻,刘昌林,陈红兵,等.CCD纵向抗晕结构研究[J].半导体光电,2007,2(1):36-39.
- [4] 王健.基于双CCD图像传感器的汽车抗晕光方法研究[J].传感技术学报,2007,20(5):1053-1056.

(收稿日期:2010-05-11)

作者简介:

张行,男,1973年生,副教授,主要研究方向:电子技术及图像处理。

应三丛,男,1975年生,博士,主要研究方向:电子技术及图像处理。