

电荷耦合器件(CCD) 在扫描相机中的应用

耿 玉 芝

摘要:本文讨论了GZ105型CCD扫描相机的工作原理、主要性能及电路设计的原理。为了抑制复位噪声和时钟脉冲干扰,很好的提取图像信号,GZ105型CCD扫描相机采用了相关双采样(CDS)方法,给出了CDS方法的原理电路和试验数据。最后给出了GZ105型扫描相机的整机试验结果。

一、概 述

GZ105型CCD(电荷耦合器件)扫描相机是一种机载仪器。它是利用CCD具有自扫描的特点设计的。在扫描相机中CCD的放置方向和飞行方向垂直、飞机向前运动完成一维的扫描,另一维的扫描是靠CCD的自扫描来实现的。CCD是CCD扫描相机的核心,它具有以下的优点:

1. CCD象感器尺寸小,重量轻,与机械式扫描相机比可以省掉机械转动部件。另外也不需要电视摄像管,使仪器的结构十分简单、可靠。
2. CCD光敏元尺寸小,几何位置精度高、图像无畸变,在光学系统配合好的情况下,可以获得较高分辨率。
3. 该器件灵敏度高,噪声小,可以获得较高的信噪比。
4. 该器件功耗低、工作可靠、寿命长,是理想的遥感探测元件。

CCD摄像的基本原理如下:扫描相机的光学系统把自然景物的反射光聚焦在CCD的光敏阵列上,入射的光量子进入衬底,把它的能量交给硅,产生电子——空穴对。当光积分栅处于高电位(光积分期间)时,在每个光敏元的势阱中积累了图像电荷,积累电荷的多少和景物反射光强及积分时间成正比。当转移栅处于高电位,光积分栅为低电位时,是电荷转移期间,此时信号电荷平行转移到两侧的移位寄存器内。然后关闭转移栅,在移位脉冲作用下依次读出信号,整个阵列读完一次,就完成了一电视行的摄像动作。同时,光积分栅又开始了下一行图像的积分。这样,借助飞机的匀速直线运动,就得到了地面景物的图像。CCD在摄像过程中起着将光强的空间变化转化为电信号的时间变化之作用。所得到的图像信号可以直接记录在磁带上,也可以实时的传输到地面,再记录在磁带上。通过飞点扫描装置回放成胶片。图1是扫描相机原理方框图,虚线框内是相机头部系统。

二、基本参数考虑

1. 分辨率(瞬时视场)

三、电 路 设 计

1. CCD工作制式的考虑

取速高比 $V/H = 0.025$, 求得行频

$$f_r = \frac{V/H}{\beta} = 62.5 \text{ c/s}$$

为了适应照相机的体制, 实际取行频为 150 c/s , 这样留有一定的重叠率, 也有利于提高纵向分辨率。

GZ105型CCD有两排移位寄存器, 两排移位寄存器分别有1024个单元, 因此, 每排至少要有1024个移位脉冲驱动寄存器, 才能送出一行信号。所以, 正程取2432个脉冲周期, 逆程取64个时钟周期, 由此得出时钟频率

$$f_0 = 2496 \times f_r = 375 \text{ kc}$$

移位脉冲频率

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \frac{f_0}{2} = 187.5 \text{ kc}$$

复反脉冲频率

$$\Phi_R = f_0 = 375 \text{ kc}$$

曝光时间取决于积分脉冲 Φ 的宽度。国产CCD手册上给出的动态范围是500, 实测结果只有200~300。为了扩大动态范围使CCD始终工作在线性区段, 在结构设计上光学系统加有可变光栏, 改变进入系统的光能量, 光圈从 $F/2.8 \sim F/16$ 变化五档。另外电路上还通过改变积分时间来达到调光的目的, 因为输出电荷量和积分时间成正比。CCD的电调光从 $0.33 \mu\text{s} \sim 6 \text{ ms}$, 分15档, 每档按 $\sqrt{2}$ 进位。

转移脉冲宽 $90 \mu\text{s}$ (53个时钟周期)。

行同步脉冲宽 $108.8 \mu\text{s}$ (64个时钟周期)。

行消隐脉冲宽 $761.6 \mu\text{s}$ (448个时钟周期)。

A/D采样脉冲周期 $1.7 \mu\text{s}$, 采样位置和采样宽度均可调。

信号处理电路的相关双采样的采样脉冲 ϕ_s , 箝位脉冲 ϕ_c 的相位和宽度均可调, 幅值由负到正连续可调。

校正电路用的地址码、片选信号和采样信号由相机头部的脉冲形成电路产生。

以上各种脉冲的时间关系如图2所示。

2. 逻辑电路

以上各种脉冲信号由脉冲发生器产生。图2中的 $\phi_r, \phi_T, \phi_1, \phi_2$ 和 ϕ_R 是CCD的时钟信号, 它们之间的时间和相位关系是比较严格的。因为CCD对光生电荷的收集, 定向转移全靠表面势阱的有规律变化, 才能把存贮在势阱中的信号电荷转移出去。同时, 为了减少电荷在转移过程中由于被界面态俘获造成的损失, 要求 ϕ_r 的后沿和 ϕ_T 的前沿, ϕ_1 和 ϕ_2 之间都要有一定的交叠, 交叠量要可调。

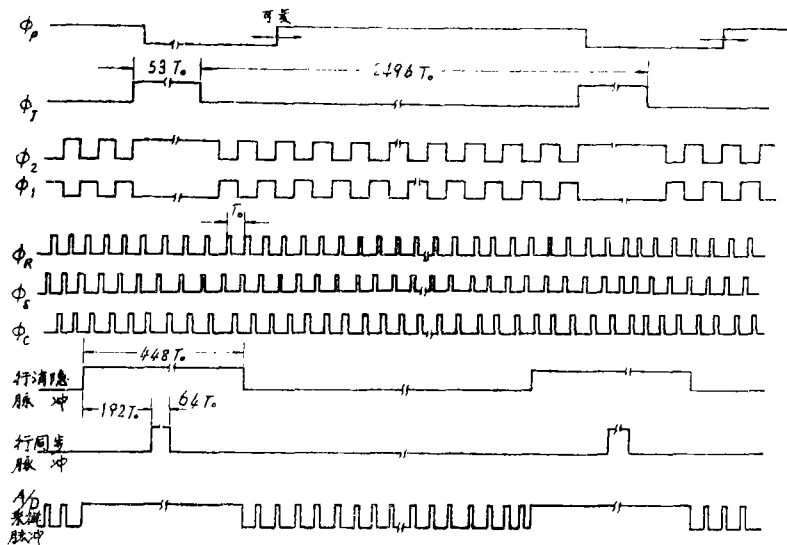


图2 CCD时钟脉冲和相机工作的脉冲信号

主振频率由石英晶体振荡器产生，时钟频率稳定，才能保证相机工作稳定正常，分辨率不受影响。

CCD相当于容性负载，对时钟信号要求幅值较高。脉冲发生器产生的信号是TTL电平。采用图3所示的互补推挽射极跟随器，线路简单、可靠，能满足上述要求。CCD是在反偏压状态下工作，为了实现曝光时间控制， ϕ_P 的幅值必须从负电平开始，该线路可以使脉冲幅值由负到正连续可调。

不需要负电平的脉冲信号，可直接采用SG004或SN75361AP等驱动器，使电路变得更简单。

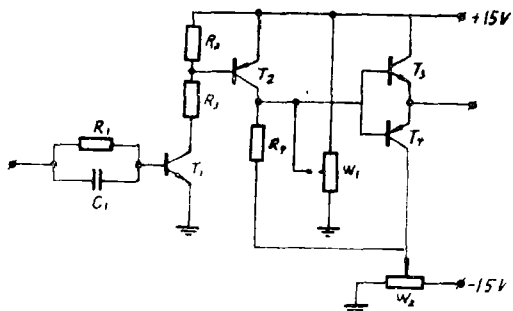


图3 驱动器电路

3. 输出信号处理

CCD输出的信号是离散的模拟信号，混有严重的复位噪声和大幅度的时钟窜扰。为了获得高质量的较高分辨率的图像，CCD输出的信号需经放大和处理后才能显示和记录。

放大器的前级应具有较大的动态范围和较宽的带宽，且有最佳的等效噪声输入阻抗，以尽量保持CCD输出的图像信息不丢失。该级采用FC91B运算放大器，放大倍数可调，以满足相关双采样电路的要求。

采用相关双采样(CDS)的方法，不仅可以抑制CCD工作过程中产生的复位噪声，对混入视频信号中的大幅度的时钟脉冲干扰和低频噪声也都有较好的抑制效果。

GZ105型线阵CCD是以浮置扩散放大器输出方式工作的，如图4所示。 T_1 是源跟随器，

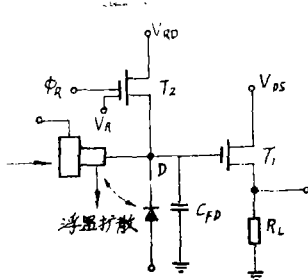


图4 浮置扩散放大器

复位管导通，电容 C_{FD} 充电，充电时间常数的典型值为： $R_{on} \cdot C_{FD} = 10^4 \Omega \times 10^{-13} F = 10^{-9} s$ 。复位脉冲 ϕ_R 的持续时间是 μs 量级，所以D点电压很快就稳定在 V_{RD} 上。导通电阻 R_{on} 在 C_{FD} 两端产生的热噪声电压按

$$\overline{V_{N1}^2(t)} = \frac{KT}{C_{FD}} (1 - e^{-\frac{2t_1}{R_{on} \cdot C_{FD}}})$$

的规律变化。其中 K 为玻耳兹曼常数， T 为绝对温度， C_{FD} 为浮置扩散区电容， t_1 为复位管导通时间当 $t_1 \gg R_{on} \cdot C_{FD}$ 时，噪声电压为 $\overline{V_{N1}^2(t)} \approx \frac{KT}{C_{FD}}$ 所以复位管导通期间，电容 C_{FD} 上的电压是直流偏置电压 V_{RD} 和噪声电压 $V_{N1}(t)$ 之和。

复位管截止时，截止电阻 R_{off} 也要产生热噪声电压， C_{FD} 上电压按

$$\overline{V_{N1}^2(t)} = \frac{KT}{C_{FD}} \cdot e^{-\frac{2t_2}{R_{off} \cdot C_{FD}}}$$

的规律缓慢变化，式中 t_2 是复位截止时间，下降时间常数的典型值为 $R_{off} \cdot C_{FD} = 10^{12} \Omega \times 10^{-13} F = 10^{-1} s$ 。由于 $R_{off} \cdot C_{FD} \gg t_2$ ，所以D点电压稍有下降，可以认为 C_{FD} 上仍然保持着复位时引入的噪声。

由此可见，复位管导通和截止时产生的热噪声通过浮置扩散放大器和移位脉冲作用下读出的信号电荷一起通过源跟随器输出。因为复位噪声是起主要作用的噪声，所以着重考虑它的影响。

根据以上的分析，如果在同一个象元的时间窗口内，二次取样，如图5所示一点取在复位开关刚刚断开后的A点，另一点取在信号电荷进入二极管后的B点，若A与B之间的时间 $\ll R_{off} \cdot C_{FD}$ ，这两个采样点的噪声可以认为基本没变。故可以通过 $V_B - V_A$ 而去掉噪声。这就是CDS的工作过程。

图6是CDS的原理电路图，图中 T_1 是采样开关， T_2 是箝位开关， C_1 是采样电容， C_2 是

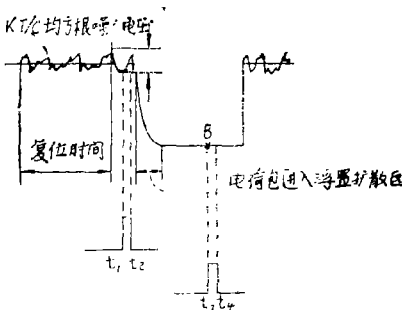


图5 CCD输出波形

T_2 是复位管。其信号的读出过程是这样的，当复位管截止时，信号电荷进入浮置扩散区，积存在二极管上，通过源跟随器读出。在前一个电荷包读出之后，复位脉冲 ϕ_R 使复位管导通，使积存在二极管上的信号电荷泄出，使D点恢复到反偏电压 V_{RD} ，等待下一个电荷包的到来。复位管就是这样周而复始的交替工作在导通和截止两种工作状态。

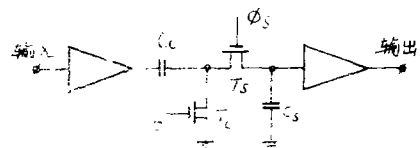


图6 相关双采样原理电路

箝位电容, ϕ_1 和 ϕ_2 是控制二个开关导通, 截止的控制信号。

箝位开关在A点导通, 采样开关在B点导通, 见图5, t_2 至 t_3 间隔越小, 复位噪声抑制效果越好。时钟脉冲干扰幅值虽然较大, 但位置是固定的, 所以合理选择采样位置和宽度, 可以在时钟脉冲干扰期间, 使电路处于保持状态, 从而封锁干扰脉冲窜入的通路, 而在信号电荷读出最佳位置时, 则使采样开关导通。这样经过CDS处理后的图像信号, 如图7所示。

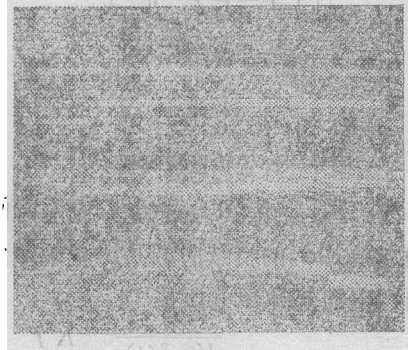


图7 CDS处理前后的黑白条信号

1. CDS之前
2. CDS之后

CCD输出信号经过CDS处理后, 信噪比明显提高, 不仅抑制了复位噪声而且将淹没在时钟脉冲干扰中的视频信号提取了出来。输出的信噪比为38db。

CDS电路还有箝位作用, 不必另加直流恢复电路, 可使视频信号失去的背景电平得到恢复。改变箝位电平(改变背景电平)可以扩大有用信号的动态范围。箝位电路对迭加在视频信号上的低频干扰也有一定的抑制作用。

为了使CDS取得良好效果, 我们选择了夹断电压低, 导通电阻小的场效应管作开关。采样电容C_s的选择既要考虑采样速度, 又要照顾保持精度。C_s的选择应尽量小些, 使得能在窄脉冲作用下迅速箝位, 但也不能太小。 ϕ_1 和 ϕ_2 的幅值必须保证 T_1 , T_2 能实现可靠的导通和截止。

经过CDS处理后的信号幅值衰减很多, 必须加以放大以满足A/D输入的要求。放大器应有较高的输入阻抗, 防止采样电容C_s上的电荷漏泄, 这有利于提高保持精度。根据采样理论, 放大器的频带宽度为 $\frac{f_0}{2}$, (即 $\frac{n}{2T}$, n为CCD象元数和多余量之和, T₀为行周期) 该级输出阻抗为75Ω。

四、试验结果

我们研制的GZ105型CCD扫描相机, 由于采用了CDS电路, 图像信号的信噪比, 分辨率都有明显提高。

室内用等宽黑白相间测试卡测量CCD相机的静态横向分辨率为25对线/mm(物距5m, 可



图8 航空遥感图片(1982.11.南京)用CCD相机拍摄

分辨1mm宽的黑白条测试卡)

1982年10月该扫描相机参加了长春地区飞行试验(航高1800m,航速150km/h)1982年11月参加了科学院组织的南京地区航空遥感试验(航高3000m,航速250km/h,垂直能见度只有5km),获得的照片比较清晰,可以分辨房屋、街道、河流、船只等,如图8的照片所示。

五、结 束 语

GZ105型 CCD 相机经过飞行试验证明是基本成功的。获得了清晰的图片。从取得的照片和测试结果分析表明,CCD器件本身的性能是很重要的。例如83年我们采用美国仙童公司的143型CCD做探测元件,研制了第二台扫描相机。该CCD器件采用埋沟技术,工作频率高,灵敏度,均匀性等指标明显优于GZ105型CCD。第二台相机获得的照片分辨率、清晰度、灰度等级等都明显优于第一台,线路也很简单可靠。因此提高扫描相机质量的关键在于提高CCD器件的性能。

参加这项工作的同志尚有耿欣,钟太升。工作中得到了陈楚康同志的指导,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] B.Kazan(Ed);“Advances in Image Pickup and Display”, Academic press New York San Francisco London,1977,3,210~226.
- [2] James A.Hall and David H Mc Cann.;“Array Technology as Applied to Future Earth Resources Sensors”,SPIE Space Optics, 1977,183,263~272.
- [3] M.H.Whith et al.;“Characterization of Surface channel CCD Imaging Arrays Low Light Levels”,IEEE Trans. Solid State Circuits, 1974,sc-9,February,1-13.
- [4] Frank Scinicarello;“Low Nois video Amplifiers for Imaging CCD’S” Conference on Charge-Coupled Device Technology and Application, NASA-CR-149583, National Aeronautics and Space Administration office Aeronautics and Space Technology and Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology,1976,30, Dec., 2,83-88.
- [5] C.H.Sequir et al.;电荷转移器件,科学出版社.

Application of Charge Coupled Devices(CCD) in Scan Camera

Geng Yuzhi

Abstract

This paper discussed the principle, main features of the type GZ105 CCD Scan Camera and the principium of circuit design. The correlated

double sampling (CDS) technique was used in type GZ105 CCD Scan Camera in order to depress the reset noise and disturbances concerned with clock pulses. The operation of CDS block diagram of the circuit and the experimental data are given. The test results of the Type GZ105型 CCD Scan Camera are included at the end of this paper.