

高速 CCD 视频摄像机的设计与研究^{*①}

郭旭平^{**} 李在铭

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】 针对大视场、高帧频、多目标电视测量系统,介绍了高速 CCD 视频摄像机的设计和研究。研究高速 CCD 视频信号的产生,给出相应的电路设计。建立并分析了信号变换模型。基于设计的信号变换电路,可把高速 CCD 视频摄像机和标准 TV 监视器、录像机联合起来使用,实现高速 CCD 视频信号的显示与记录,而不需要昂贵的辅助仪器。实验结果表明高速 CCD 视频摄像机的适用性。

关键词 电荷耦合器件; 高速 CCD 视频信号; 信号变换; 显示; 记录

中图分类号 TN941.1

针对“大视场、高帧频、多目标电视测量系统”的要求和目前国内的电视普遍采用标准的 CCIR 体制的实际情况,在现有条件下,我们进行了高速 CCD 视频信号的产生和变换处理的研究,研制出帧速率为 200 帧/秒的高速 CCD 视频摄像机,其重要特点是:高速 CCD 视频摄像机不仅能够输出 200 帧/秒的视频信号,而且经过信号变换,可输出标准电视信号,因此能够把高速摄像机和标准 TV 监视器、录像机联合起来使用,从而不需要昂贵的辅助仪器就可实现高速 CCD 视频信号的显示和记录,并通过暂停写过程可继续显示最后写入的帧作为凝固图像,这一特性可用于在标准 TV 监视器上进行慢动作的显示。

1 高速 CCD 视频信号的产生

高速 CCD 视频摄像机中采用两相时钟驱动、行间转移结构的面阵高帧频 CCD 成像器件。为了产生帧速率为 200 帧/秒的视频信号,我们从电路设计上对选用的 CCD 采用高频驱动,并使得 CCD 按单帧逐行转移产生视频信号。

对于 CCD 成像器件,在制作技术上为了避免由于热产生的少数载流子对注入信号的干扰,注入电荷从一个电极转移到另一个电极所用的时间 t 必须小于少数载流子的平均寿命 τ ,即

$$t < \tau \quad (1)$$

这样在正常工作条件下,对于两相 CCD

$$t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} \quad (2)$$

当 CCD 工作频率升高时,若电荷本身从一个电极转移到另一个电极所用的时间 t 大于驱动脉冲使其转移的时间 $T/2$,则信号电荷跟不上驱动脉冲的变化,将会使转移效率大大下降。因此要求

$$t \leq \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} \quad (3)$$

由式(1)和式(2)可得 CCD 工作的下限频率,由式(3)可得上限频率。由此可得两相 CCD 的工作频

① 1997 年 9 月 3 日收稿,1997 年 10 月 20 日修改定稿

* 电子部预研基金资助项目

** 男 33 岁 博士生

率范围为

$$\frac{1}{2\tau} < f \leq \frac{1}{2t} \quad (4)$$

式(4)表明, CCD 工作的下限频率与少数载流子的平均寿命有关, 电荷自身的转移时间限制了驱动脉冲频率的上限, 可见 CCD 的工作频率范围是由其自身的特性决定的。因此, 在实际的应用中, 驱动既定的 CCD 的脉冲频率是受限的^[1]。这就要求在高频驱动下产生高速视频信号又要使驱动 CCD 正常工作的时钟频率满足 CCD 的工作频率范围。

高速 CCD 视频摄像机采用的行间转移(IT)的 CCD 成像器件与帧间转移(FT)的器件相比, 具有动态范围宽, 串光和拖影很小等固有的优点。由于所采用的行间转移结构的 CCD 器件把每个光敏元分为 A 和 B 两部分, 将一帧信号分成两场(奇数场和偶数场), 每个光敏元的 A 部分即奇数场部分对应于垂直寄存器的第一相 Φ_{V1} , B 部分对应于第二相 Φ_{V2} 。因此, 可以通过电路设计, 产生高频的相互之间具有一定时序关系的积分时钟 Φ_P 和场转移时钟 Φ_{V1} 、 Φ_{V2} 以及行转移时钟 Φ_{H1} 、 Φ_{H2} , 使得 CCD 按单帧逐行转移产生高速视频信号。在场消隐期内光敏元积分时间一结束, 此时积分时钟 Φ_P 电平为低且 Φ_{V1} 为高, 奇数行的信号电荷从光敏区的 A 部分转移到垂直位移寄存器形成奇数场, 奇数场电荷转移后 Φ_P 电平再次为低且 Φ_{V2} 为高, 将偶数行信号电荷从光敏区的 B 部分转移至垂直位移寄存器, 由此形成偶数场。当一行信号电荷从垂直位移寄存器转移到两相水平位移寄存器后, 行转移时钟 Φ_{H1} 、 Φ_{H2} 将信号电荷读出送至输出放大极, 一行信息读完后, 就进入行消隐。在行消隐期, 场转移时钟 Φ_{V1} 、 Φ_{V2} 将下一行信号电荷从垂直位移寄存器转移到水平位移寄存器。然后水平位移寄存器进行新的一行信号的读出。依次循环, 直到一场信号电荷读完, 进入场消隐。

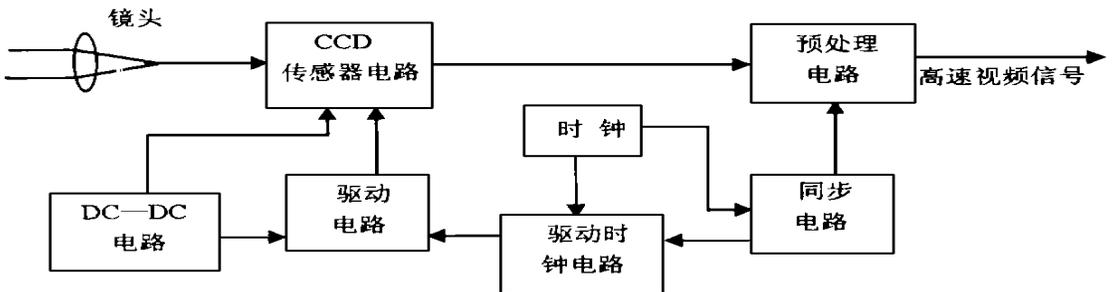


图 1 高速视频信号的产生电路原理框图

根据以上的研究分析, 图 1 给出了高速 CCD 视频摄像机中, 产生高速视频信号的电路原理框图。CCD 图像传感器工作所需的驱动时钟包括行转移时钟、场转移时钟、积分时钟、复位时钟 (Φ_R) 和采样—保持时钟 (Φ_S), 这些信号由驱动时钟电路产生。DC/DC 变换电路提供 CCD 的抗晕偏置电压 (V_{AB}) 浮置栅放大器源偏置电压 (V_{SF})、复位偏置电压 (V_{RD}) 等。驱动电路完成对驱动时钟的电平转换和电流放大, 以满足 CCD 正常工作所需的较大的驱动电流和驱动时钟脉冲幅度的要求。传感器电路是 CCD 与相应电路的电学接口, 并使 CCD 的靶面与镜头的距离保持 17.625 mm。该电路上的 CCD 的信号输出采用浮置栅放大器输出方式。在行转移时钟 Φ_{H1} 、 Φ_{H2} 的作用下水平寄存器输出电荷, 由浮置栅进行电压转化, 其转化量与信号电荷成正比。每行转化读出后, 由复位时钟脉冲 Φ_R 将浮置栅复位至复位电平 V_{RD} 。从浮置栅放大器输出的信号经 MOS 管, 由采

样—保持时钟 Φ_S 控制采样保持,再经 MOS 管缓冲隔离至输出端得到视频信号。最后输出的模拟信号的幅度变化代表 CCD 表面曝光量的空间分布。该信号经视频预处理电路由高速 CCD 视频摄像机的高速视频信号输出口输出。

在用于测量的情况下,通常摄像机 CCD 的光敏面上任何光敏单元上的曝光量 Q 均应低于饱和曝光量 Q_{sat} , 否则,将产生大的测量误差。既要求

$$Q < Q_{sat} \quad (5)$$

对于既定的 CCD 成像器件,若以 E 代表 CCD 光敏面的照度, t_s 表示两次取样的间隔时间,则曝光量应为

$$Q = Et_s \quad (6)$$

由于取样的间隔时间 t_s 由转移时钟脉冲的周期确定,所以调节曝光量要通过调节 CCD 光敏面上的光照度来实现。这样根据式(5)和式(6)光敏面上的任何点的光照度应满足

$$E < Q_{sat} / t_s \quad (7)$$

因此,高速 CCD 视频摄像机在实际的应用中,除了靠选择高速成像系统的望远镜的相对孔径来达到照度与 CCD 光敏特性相匹配外,为了在最大和最小照度之差远超过 CCD 响应的范围,这时单靠调节光学系统的参数不能达到目的情况下,使 CCD 光敏面上的光照度满足式(7)的要求,在应用于大视场、高帧频、多目标电视测量系统中,我们采用了滤光补偿,这样综合调节减小测量误差。

2 信号变换的理论模型和实现

高速 CCD 视频摄像机中,为了实现高速 CCD 视频信号的显示与记录而进行的信号变换是靠硬件电路完成的,这一部分实际上是对高速 CCD 视频信号的观测系统。因此在理论上可用视频信号的观测模型来描述信号观测过程中系统对信号的变换。一般来说,一个信号通过了观测系统总是会发生畸变的,因此观测系统一般是降质系统。这里“降质”是广义的,因为在很多情况下“降质”是一些实现信号观测的极其必要的信号变换过程^[2]。

高速 CCD 视频信号向标准视频信号的变换,首先必须完成高速 CCD 视频信号的采集并把离散化的视频数据存入帧存储器。这时,假定离散数字信号是希尔伯特空间 H 中的线性子空间 S^n 中的矢量 x ,则系统产生的观测信号是空间 H 中的线性子空间 S^m 的一个矢量 y 。这样,系统信号变换的理论模型可描述为线性算子 $A: x \rightarrow y$, 即

$$y = Ax \quad (8)$$

式中 $x \in S^n, y \in S^m, S^n, S^m \subset H$ 。即 A 所描述的方式亦即以系统实现的方式来观测 S^n 空间的原信号(n 维矢量 x), 所得到的观测结果是 S^m 空间的 m 维矢量 y 。

由硬件电路构成的观测系统在实现高速视频信号向标准视频信号的变换过程中,“降质”使观测到的信号中信息量少于原信号即 $m < n$ 。这种情况下可用内插法恢复信号,然而完全重建原信号是不大可能,但就显示而言满足观测的视觉要求。

在实际的信号变换中,系统噪声总是不可避免的。加性噪声在多数情况下,实际的观测值 $z \in S^m$ 与理论模型值间有以下关系

$$z = Ax + N \quad (9)$$

式中 N 为 m 维噪声矢量 $N \in S^m$ 。

式(9)表示了高速 CCD 视频信号的离散数字信号向标准视频数字信号的变换。其中 $x \in S^n$ 是一个 n 维矢量处于原信号空间, $z \in S^m$ 是一个 m 维矢量处于观测信号空间。决定这两个空间映

射的矩阵 A 由系统完全决定。

由以上的分析可知基于信号变换, 高速 CCD 视频摄像机可输出标准电视信号。图 2 给出了实现信号变换和输出标准电视信号的原理框图。在具体的设计中, 我们根据高速 CCD 视频信号和标准视频信号的同步特性分别设计两套(读/写)地址产生电路, 所产生的读、写地址分别为 50 场读地址和 200 帧写地址, 在变换控制电路的控制下按信号变换的逻辑时序关系经地址选择器加到帧存储器的地址线上, 形成写/读地址映射, 从而唯一确定变换矩阵 A 。

高速 CCD 视频信号经 A/D 转换成视频数据, 在变换控制电路的控制下经读写转换电路存入帧存储器。然后按地址映射关系, 在变换控制电路的控制下经读写转换电路读出帧存储器中的视频数据, 并经 D/A 转换器转换成标准视频信号。这一信号经同步输出电路后, 由高速 CCD 视频摄像机的标准电视信号输出口输出。

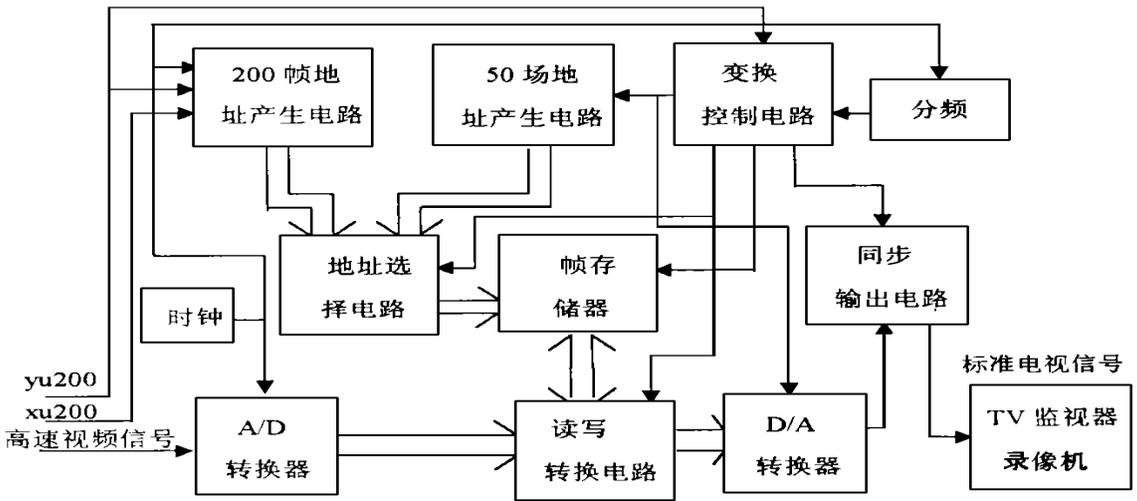


图 2 信号变换和输出的电路原理框图

3 实验结果

为了说明和验证基于高速 CCD 视频信号产生和变换电路的高速 CCD 视频摄像机的性能, 我们给出被测目标为点目标的情况下, 高速 CCD 视频摄像机的高速视频信号输出口输出的信号在标准 TV 监视器上的显示结果如图 3 所示。结果表明该信号是高速视频信号, 因此可用于大视场、高帧频、多目标电视测量系统中的实时处理。

为了实现高速 CCD 视频信号在标准 TV 监视器上的正常显示和用标准记录设备的记录, 基于其中的信号变换电路, 高速 CCD 视频摄像机的标准电视信号输出口输出的信号在标准 TV 监视器上的显示结果如图 4 所示。显示结果表明该信号是标准 CCTR 体制的电视信号。这样我们不需要昂贵的辅助仪器就可把高速 CCD 摄像机和标准 TV 监视器、录像机联合起来使用, 实现对目标运动的分析。

4 结束语

CCD 图像传感器的飞速发展, 使得目前的高速 CCD 视频摄像技术以及相应的高速 CCD 视频信号处理技术成为了人们研究的重要课题之一, 是宇航、遥感、制导、预警以及天文探测等军事及科

研领域中不可缺少的技术。因此基于高速 CCD 视频信号产生和变换处理的研究, 研制出的输出高速 CCD 视频信号并输出标准电视信号的高速 CCD 视频摄像机在技术上具有先进性和重大意义。



图 3 高速 CCD 视频信号在标准 TV 监视器上的显示结果

图 4 经信号变换后的标准电视信号在标准 TV 监视器上的显示结果

参 考 文 献

- 1 王庆有, 孙学珠. CCD 应用技术. 天津: 天津大学出版社, 1993
- 2 王延平. 信号复原与重建. 南京: 东南大学出版社, 1992

Design and Study of High-speed CCD Video Camera

Guo Xuping Li Zaiming

(Academy of Communication and Information Eng., UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The design and study of the high-speed CCD video camera are introduced in accordance with the television measurement system with spacious field-of-view, high frame rate and multi-target. The generation of the high-speed CCD video signal is discussed and the design of correspondent circuit is presented. The signal transformation model is built and analyzed. Based on the circuit designed for the signal transformation, the high-speed CCD video camera can be used in combination with standard TV-monitors and videocorders to display and record high-speed CCD video signal without needing additional expensive equipment. The experimental results show that the high-speed CCD video camera in this paper is applicable.

Key words charge couple device; high-speed CCD video signal; signal transformation; display; record

编辑 徐培红