

文章编号 1004-924X(2002)04-0359-06

高质量 X 射线检测数字化成像及图像采集

程耀瑜^{1,2}, 胡 毅¹, 韩 焱¹, 朱明武²

(1. 华北工学院 七系, 山西 太原 030051

2. 南京理工大学 机械学院, 江苏 南京 210014)

摘要: X 射线数字成像检测是工业无损检测的新技术。非胶片实时数字成像检测以其高效率、低成本,特别是数字图像的可交换性和存储方便等特点成为射线检测的发展趋势。通常使用的由射线像增强器、视频摄像机、图像采集卡和计算机组成的系统成像质量差且只能在低能 X 射线下使用,作者经过反复研究和实验,研制了基于单晶闪烁屏和科学级 CCD 相机的可用于高、低能 X 射线高分辨率、高对比灵敏度数字成像检测系统。介绍了整个检测系统的组成,设计了科学级制冷 CCD 相机、预处理电路、A/D 转换电路、微机 EPP 方式快速数据采集电路和软件等。给出了某铝铸件(厚 150mm)在加速器高能 X 射线下的成像结果。实验证明该系统比普通像增强器和视频相机组成的系统具有适应射线能量范围宽和成像质量好的优点(成像时间长一些)。系统的空间分辨率大于 3lp/mm,检测物体 50mm(等效钢厚)以上时,对比度灵敏度小于 1%。

关键词: X 射线成像;科学级 CCD 相机;复位噪声;空间分辨率;对比度灵敏度

中图分类号: O438 **文献标识码:** A

1 引言

随着射线检测技术的发展,非胶片成像检测以其实时性带来的高效率,无耗材引起的低成本,特别是数字图像的可交换性和存储方便等特点成为射线检测的发展趋势。射线数字实时成像技术是指用射线敏感器件代替胶片接收穿透射线并通过光学及电子线路以数字信号实时地显示图像的技术。常用的方法是采用射线像增强器、视频摄像机、图像采集卡和计算机组成成像系统。其优点是实时性强(视频),缺点是成像质量差且只能在低能 X 射线下使用。为此作者研制了基于闪烁屏和科学级 CCD 相机的高质量成像系统,可用于高、低能 X 射线且分辨率和对比度灵敏度高。

2 高质量 X 射线数字成像检测系统的构成

由于科研工作的需要,经过反复研究和实验,

开发出适用于高能(一般在 1MeV 以上,由加速器产生)和低能(一般管电压小于 450kV) X 射线检测使用的高性能 X 射线数字成像检测系统,如图 1 所示。左边点划线框内是射线室部分,右边点划线框内是控制室部分,虚线框内是射线成像及其数据采集的内视仪部分。由射线源控制器控制射线源产生 X 射线,射线透过物体后其强度分布携带了被测件的信息,内视仪首先把射线强度分布透过 X 射线转换屏转换为可见光图像,通常由于射线能量不可能很强,转换屏的转换效率较低,转换后的图像属于弱光图像,为了得到高质量的图像,利用高性能科学级 CCD 相机较长时间曝光积累,形成一定灰度的图像,读出图像信号经 A/D 转换后,由几十米远控制室的计算机进行数据采集、图像的处理、识别和存储。数字化成像及其数据采集部分是检测系统中的重要组成部分,其中核心部分是科学级 CCD 相机及其图像信号的计算机采集。但成品的相机不仅成本高,而且需要改造,作者采取了使用 CCD 芯片,自己设计外围电路及数据采集电路的方法来实现。

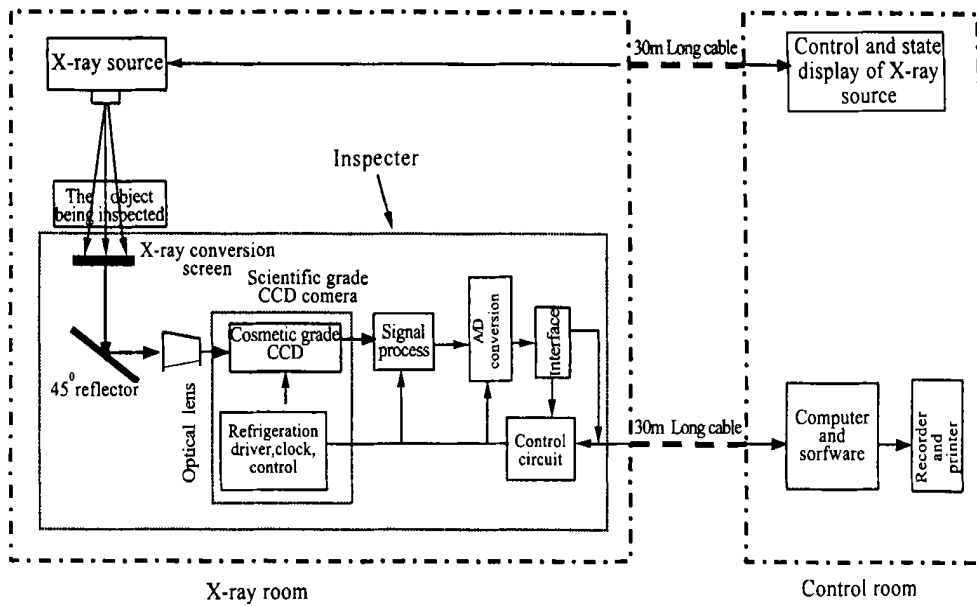


图 1 X 射线数字成像检测系统组成

Fig. 1 System of digital radiographic detection.

3 制冷科学级 CCD 相机的研制

3.1 高性能制冷 ISD017AP 型 CCD

根据成像系统的指标要求并考虑价格和市场情况,选择了俄罗斯生产的 ISD017AP 型化妆品级制冷 CCD。其引脚图如图 2 所示。ISD017AP 型 CCD 具有 1160×1040 个、尺寸为 $16 \times 16\mu\text{m}$ 的光敏单元,分为上下两区,即 A 区和 B 区,A 区和 B 区各有 580 行,两区的衔接处光学特性保持一致,也可作为单区使用,每区和自己的具有 1094 个像元的输出寄存器(水平寄存器)相连(其中 1040 个有效,在寄存器两端各有 27 个寄存器读出的数据没有用),芯片上安装有监测其温度的铂电阻传感器,用于监测其实际温度,器件装进充气的 DIP 型金属壳内,并放置和 CCD 器件紧密相连的帕尔帖微冷却器,用于对 CCD 器件制冷。本次设计中为了充分利用 CCD 像元,采用单区工作,图 2 中左右两边相应信号相连,如 VS_1 和 VS_2 、 RG_2 和 RG_1 。本次设计从 B 区寄存器的双级输出(OS_2B 端输出),驱动信号时序如图 3 所示。从图中可看出因 OG_2 和 PH_1 时序相同,所以可以相连。 $+PTC$ 和 $-PTC$ 端为 CCD 制冷输入端。 $+TD$ 和 $-TD$ 为测温电阻的两端。为了读

出图像信号,需要提供给 CCD 芯片的有关信号为: 寄存器位转移信号 PH_1, PH_2, OG_2 (可和 PH_1 相连),每行 1094 个脉冲,这 1094 个脉冲是处在相邻两行转移脉冲之间。行转移信号 VM_2, VM_1 ,各 1160 个脉冲。复位信号 RG_2 (用 RG 表示),每行 1094 个,在每次读出一位后要复位。输出放大器的漏级 DD ,复位管的漏级 RD_2 (见图 7),以上驱动信号的波形及各参数电平要求不同,参看文献[4]。

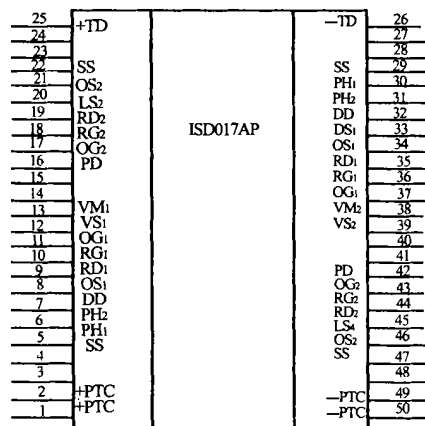


图 2 ISD017AP 的引脚图

Fig. 2 Pin of ISD017AP.

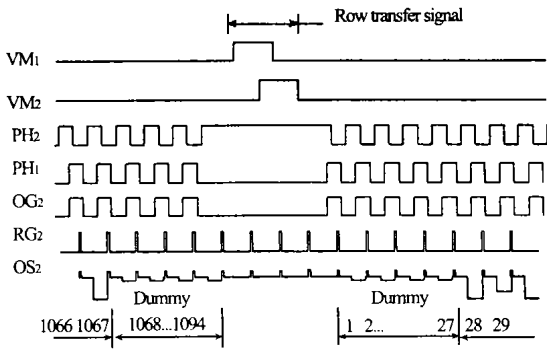


图 3 单区双级输出工作时序图

Fig. 3 Time sequence of CCD two-stage preamps output mode.

3.2 CCD 的制冷

为了降低 CCD 的暗电流及其噪声,在 CCD 器件上粘贴半导体制冷器件和测温器件 (RT),通过半导体制冷和风扇散热的方法来使器件工作在 -30 以下的环境中。设计的制冷电路如图 4 所示。

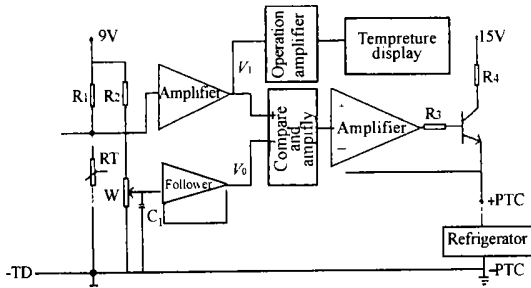


图 4 CCD 制冷与测温电路

Fig. 4 Refrigeration and temperature measurement circuit of CCD.

CCD 芯片上温度不同,则 RT 的值不同,在此通过测量 RT 两端的电压值来求得其电阻值,从而算出其温度值,通过调节 W,可使 V_0 预置成 -30 的值(即 V_1 在 -30 时应有的值)。利用 V_1 和 V_0 的差值,放大后产生制冷信号,通过大功率三极管,用以给制冷器提供较大的制冷功率,测温 and 制冷构成反馈电路,这样保证器件能够在 -30 以下。

4 CCD 相机驱动及数据采集方案设计

4.1 总体要求

(1) 快速读出与数据采集

由于像素数多达 1040×1160 ,每一像素有三个过程,读出 A/D 转换 读入计算机。所以每幅图像需要进行 1040×1160 次这样的过程和 1160 次行转移,为了提高检测速度,要求设计快速 CCD 读出驱动与数据采集电路。

(2) 低噪声,高精度,低成本

为了得到高质量的图像,除 CCD 器件必须制冷外,要尽量减小读出噪声、电路随机噪声、A/D 转换噪声,并选择适当的 A/D 输出位数。整个设计要考虑适中的成本。

(3) 远距离传输

内视仪在射线室,而计算机在控制室,相距 30m 左右,所以数据要进行较远距离的快速传输。

4.2 CCD 相机及数据采集方案

基于上述要求的设计方案如图 5 所示。用独立制冷电路(具有测温 and 反馈控制功能)给 CCD 芯片制冷。把一个像元的值传到计算机,包括 CCD 读出与信号处理,然后对其 A/D 转换,再把转换后的数据传到计算机中。如果每个像元的这三部分分时进行,将一幅图像传到计算机当中,需要很长时间。在此我们采用了三者并行工作的方法(即流水线工作方式),在计算机并行口 EPP 方式有关信号的同步下产生有关驱动信号,并利用多位线差分驱动器电平转换进行远距离并行传输。

在 ADDRSTB 信号作用下,产生行转移驱动时钟。在计算机信号 DATASTB 的控制下产生位转移驱动时钟,输出本次信号,然后对本次输出信号采样并保持,等待下一次 DATASTB 信号到来进行 A/D 转换,在读出本次信号的同时,启动 A/D 转换器转换上个像元输出并持有的信号,转换结束后自动锁存,等待下一次 DATASTB 信号到来后读入计算机,同时把上上次像元的信号经 A/D 转换后锁存到寄存器的值,经电平转换为 RS422 标准后读入几十米外的计算机内存中。也就是说,第 $N+2$ 个脉冲到来后送给计算机的值,是第 N 个脉冲作用下 CCD 的输出信号经过第 $N+1$ 个脉冲启动 A/D 转换器转换后自动保存在锁存器中的值。因为 CCD 器件的输出寄存器是 1094 位,而实际有效像元为中间的 1040 位,前后 27 位数据是无效数,这样就不会产生错误,即只要把采集到的第 29~1069 位数据看成是有效位第 1~1040 位即可。

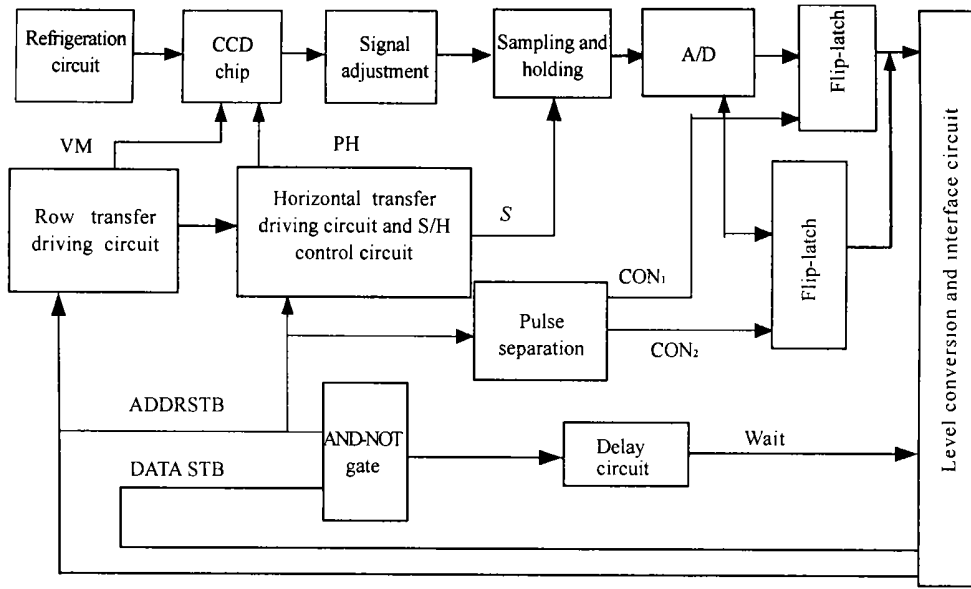


图 5 CCD 相机及数据采集方案

Fig. 5 Scheme of the CCD camera and its data acquisition.

4.3 信号预处理及复位噪声的消除

CCD 积累的电荷在驱动时钟的作用下通过输出电路转换为电压信号, ISD017AP 型 CCD 采用浮置扩散放大器 (FDA) 输出。输出信号 U 经过如图 6 所示的预处理电路后转换为 A/D 转换器的输入信号 U_0 。时序图如图 7 所示。工作原理为: 在 t_1 时刻输出信号 U , 经过低噪声放大器 A_1 放大, 再经过电位器 W 和 A_2 放大器在 A_3 放大器中和上次复位后的信号相减 (SH_1 是采样保持器, 此时保持的是上次复位后的信号), 在 t_2 时刻由采样保持器 SH_2 保持并经 A_4 放大输出给 A/D 转换器的输入端, 能够一直保持到下一次 A/D 采样结束。 A_3 为差分放大器, 实现本次信号减去上次复位后的信号, 从而消除复位噪声。在 t_3 时刻本次输出放大器在 RG 作用下复位, 复位后的信号在 S_2 的作用下在 t_4 时刻由 SH_1 保持, 用来和下次输出信号相减。

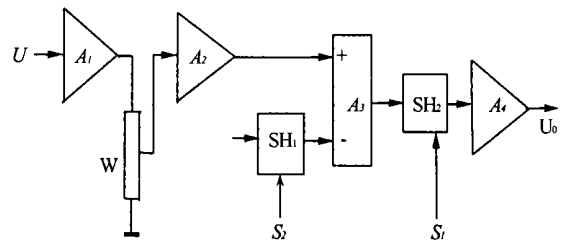


图 6 CCD 输出信号预处理电路

Fig. 6 Signal preprocessing circuit of CCD.

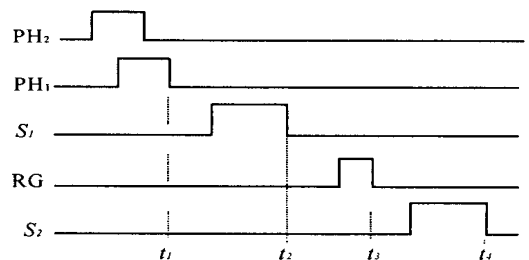


图 7 CCD 输出驱动及预处理时序图

Fig. 7 Time sequence of driving and preprocessing.

4.4 信号的 A/D 转换及微机并行口 EPP 方式的远距离快速数据采集

如图 8 所示, CCD 读出的信号经过预处理电路和采样保持电路后, 由 AD7892-3 型 12 位并行输出快速模数转换器转换为数字信号。AD7892-3 的采样时间为 200ns, 转换时间为 1470ns。A/D 转换由本次的 CON_1 的上升沿启动, 转换结束后自动进行下次采样并输出 EOC 信号, 利用

ECO 自动把本次的转换结果存储在两片 74LS373 锁存器中, 由下次的 CON_1 和 CON_2 读入计算机 (约 800ns, 和 AD 转换同时进行)。为了实现远距离传输, 把数字信号的 TTL 电平转换为 RS422 标准, 经过双绞线长电缆进行传输。电

平转换器件 V_4 、 V_5 采用 TI 公司的 SN75174 和 SN75175,其转换速度快,抗干扰能力强。

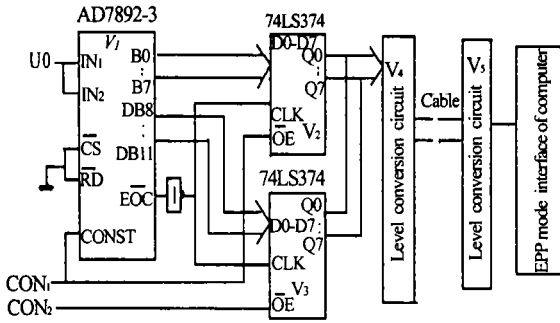


图 8 A/D 转换及数据的远距离采集

Fig. 8 A/D conversion and far distance data acquisition.

利用计算机的增强并行口的地址读和数据字读实现快速数据采集和产生内视仪所需的同步信号 DATA_{STB} 和 ADDR_{STB}。EPP 方式是在 SPP 兼容的基础上又增加了新的功能,利用其数据和地址读写周期可双向、快速地进行 16 位数据传输。传输速率最高可达到 2MB/s(本次设计为 400 KB/s)。

5 实验结果和结论

利用本次设计的科学级 CCD 相机及其数字

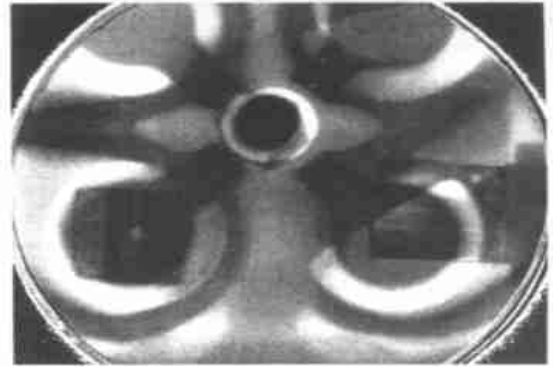


图 9 高能下 X 射线某铸件的图像

Fig. 9 Casting image at high X ray.

化成像与数据采集电路、精工镜头和 CsI 屏(X 射线转换屏)等构成了 X 射线内视仪,分别在高、低能 X 射线源组成图 1 所示的检测系统进行了实验。实验结果说明该成像系统不仅适用 X 射线的能量(kV 数)范围广,而且图像质量明显优于由 X 射线像增强器和视频相机组成的实时成像系统(当然,成像时间比其长)。系统的空间分辨率大于 3lp/mm,当被检测物体等效钢厚在 50mm 以上时,对比度灵敏度优于 1%。本系统特别适用于要求高质量成像检测的场合。图 9 为某一铝铸件(厚 150mm)在加速器高能 X 射线下的数字图像,透照时间为 3s,可以看出其内部有孔状缺陷。

参考文献:

- [1]李相民.科学级致冷 CCD 相机的性能和技术[J].大连理工大学学报,1997,37(增2):163-165.
- [2]伍丁红.增强并行口 EPP 协议及高速并行口 A/D 转换器的设计[J].电子技术应用,1998,24(2):47-49.
- [3]程耀瑜,胡耀.高速 12 位模数转换器 AD7892 及其在图像采集中的应用[J].国外电子元件,2000,(9):22-24.
- [4]程耀瑜,胡耀,韩焱.化妆品级制冷 CCD 的研究及其在 X 射线成像检测中的应用[J].激光与光电子学进展,2002,39(2):41-45.
- [5]程耀瑜,韩焱,王明泉,等.基于射线像增强器和视频相机的数字成像检测系统研制[J].测试技术学报.2001,15(4):209-213.
- [6]Nagarkar V V. CCD - based high resolution digital radiography system for nondestructive evaluation[J]. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1998, 44(3):885-889.

Digital imaging and its data quick acquisition in high quality X-ray testing

CHENG Yao-yu^{1,2}, HU Yan¹, HAN Yan¹, ZHU Ming-wu²

(1. Department 7 of North China Institute of Technology, Taiyuan 030051, China;

2. Machinery Institute of Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210014, China)

Abstract : X-ray digital imaging testing technology is a new method of nondestructive testing. Non-film real time digital radiography , which has high efficiency and low cost , especially the characteristics of digital image exchangeability and storage convenience , has become the development direction. The commonly used system consisting of a X-ray image intensifier , a video camera , an image acquisition card and a computer has the disadvantage of low imaging quality and only being used at low X-ray energy. By repetitive investigating and testing , a high spatial resolution and high contrast sensitivity system based on crystal scintillation and scientific CCD camera has been developed , which can be used both at low energy and high energy. This paper introduces the constitution of the system , including the scientific grade CCD camera which must be refrigerated , an output signal pre-processing circuit of CCD , A/ D circuit , and quick data acquisition circuits using the EPP mode of computer and softwares. An aluminium casting (150mm) image obtained by the system at accelerator high energy X-ray is offered. The experimental results show the system has merits of adapting a wider X-ray energy range and imaging quality better than the system based on an image intensifier and a video camera (imaging time longer than the latter) . The spatial resolution of the system is over 3lp/mm , the contrast sensitivity , when the thickness of the object to be inspected exceeds 50mm equvalued steel thickness , is below 1 %.

Key words : X-ray imaging ; scientific grade CCD camera ; enhance parallel port ; quick data acquisition at long distance ; recovery noise ; spatial resolution ; contrastive sensitivity

作者简介:程耀瑜(1966 -) ,男 ,山西省平遥县人 ,副教授 ,硕士学位 ,在读博士生 ,主要从事测试与检测技术研究和系统开发工作 ,并从事电子技术及仪器的教学工作 ,1987年毕业于南京理工大学无线电技术本科专业后在华北工学院从事教学科研工作 ,1994年获测试计量技术及仪器专业硕士学位 ,省部级以上成果四项 ,省科技进步奖一项 ,发表第一作者科技论文 12 篇。E - mail :chengyaoyu66 @163.com