

# 光锥与 TDI-CCD 耦合监控中测试目标 的一种实现方法\*

刘 蔚<sup>1,2</sup> 张伯珩<sup>1</sup> 边川平<sup>1</sup> 翟学锋<sup>1,2</sup> 田维坚<sup>1,2</sup> 卜江萍<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室信息光子学研究室,西安 710068)

(2 中国科学院研究生院,北京 100039)

**摘 要** 为了给光锥与时间延迟积分电荷耦合器件耦合监控装置提供有效的被测运动条纹,分析了传统推扫成像实验装置的不足之处,设计了电子显示目标滚屏运动装置. 采用光学相机对印刷条纹静止成像,并用 TDI-CCD 数码相机对监视器屏幕上的运动条纹动态成像. 实验结果表明,该方案解决了高分辨率的鉴别率图样无法在监视器或投影仪上精确显示的困难. 与传统的实验室模拟装置相比,该方案提高了鉴别率条纹的运动稳定性,减小了条纹运动速率与 TDI-CCD 扫描行频间的失配误差,不仅能够对耦合过程实施监控,而且还能用于耦合系统的像质评价.

**关键词** TDI-CCD; 耦合监控; 电子显示目标

**中图分类号** TP773 **文献标识码** A

## 0 引言

光锥作为一种硬光纤锥形传像器件,具有放大或缩小并无畸变传输图像的功能. 作为微光摄像系统像增强器,光锥与电荷耦合器件(Charge Coupled Devices,简称 CCD)耦合已经在微光夜视技术中得到了广泛的运用<sup>[1]</sup>;在空间对地光学遥感中光锥耦合 CCD 摄像技术可以在相同分辨率下,缩短相机焦距,从而减小探测器体积和重量,所以在空间光学探测领域中也越来越受重视<sup>[2]</sup>.

时间延迟积分电荷耦合器件(Time Delay and Integration Charge Coupled Devices,简称 TDI-CCD)与普通线阵 CCD 相比具有高响应度、低噪音的特点,更加适用于微光测量、检测及航天遥感领域<sup>[3,4]</sup>. 在光锥与 TDI-CCD 的耦合过程中,光锥及 TDI-CCD 端面的对准和胶合是关键环节,为了确保胶接的准确度,监控系统是十分必要的.

TDI-CCD 相机动态推扫成像的实验室模拟装置通常有反射式模拟滚筒<sup>[5,6]</sup>和透射式精密导轨两种:在滚筒置中,翻拍的鉴别率条纹贴附在滚筒表面,被滚筒表面反射的光线携带成像目标信息经光学镜头,在 TDI-CCD 光敏面上成像. 滚筒由电机驱动作连续滚动,电机控制系统提供参量调整滚筒转速使鉴别率条纹的运动速率与 TDI-CCD 行扫描频率相匹配,保证正确成像. 在导轨装置中,鉴别率条纹贴附在均匀光照的灯箱表面,光线从鉴别率条纹

背后透射,携带被成像目标的信息经光学镜头,在 TDI-CCD 光敏面上成像. 灯箱置于电控位移台上,电机驱动位移台在垂直方向作匀速往复平动. 电机控制系统提供参量调整位移台的升降速率使鉴别率条纹的运动速率与 TDI-CCD 的行扫描频率匹配,以保证正确成像.

两种装置均存在不足之处. 滚筒装置的缺点在于:反射式成像对照射光源的位置、强度、均匀性及消除杂散光等方面提出了较高的要求;滚筒的柱面结构会引起像面畸变;柱面曲率不等会造成滚动过程中鉴别率条纹会产生抖动;电机转速不均匀导致鉴别率条纹的运动速率与 TDI-CCD 行扫描频率存在失配误差;为了保证机械运动的稳定性,整个装置需要具有一定的体积和质量,而这给装调带来不便,也增加了成本和造价. 导轨装置的缺点在于:鉴别率条纹密度很大时衍射效应会逐渐明显,对成像产生干扰;位移台在推扫方向上往复平动,破坏了采集和成像的连续性;并且透射光源的光谱范围与 TDI-CCD 的光谱响应范围的匹配也需予以考虑.

本文在传统推扫实验装置的基础上作以改进,采用电子显示目标滚屏运动的方案,设计了一套耦合监控实验装置. 充分利用了光学系统产生运动图样的机械稳定性和电子学系统在控制、显示及实时处理上的灵活性,解决了高分辨率的鉴别率图样无法在监视器或投影仪上精确显示的困难. 实验装置不仅能够灵活方便地对耦合过程实施监控,而且还能用于耦合系统的像质评价<sup>[6,7]</sup>.

\* 国家高科技发展 863 计划资助

Tel: 029-88484252 Email: wayne.liu@opt.ac.cn

收稿日期: 2005-04-26

# 1 电子显示目标滚屏运动方案的设计原理

根据 TDI-CCD 的工作方式, 只有当它的行扫描频率与目标的运动速率严格同步时才能精确成像, 这就给耦合监控系统的设计带来了困难<sup>[8,9]</sup>. 参考 TDI-CCD 相机动态推扫实验装置, 分析和研究了两种常用实验装置的优劣, 在光锥与 TDI-CCD 耦合过程的监控中, 采用了电子显示目标滚屏运动的设计方案, 对推扫实验装置进行了改进, 使系统的监测与控制更加方便灵活. 对应系统组成如图 1.

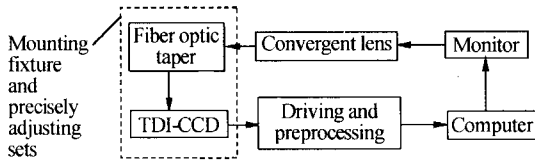


图 1 电子显示目标滚屏运动实验装置组成  
Fig. 1 The schematic of the laboratory sets of the electronic object displayed cyclically on the screen

在光锥与 TDI-CCD 耦合监控系统模拟成像目标的设计中, 采用了的方案: 运用计算机编程产生疏密不等、平动速率可调的鉴别率条纹, 显示于监视器屏幕. 汇聚透镜组对屏幕上的运动条纹进行压缩, 并成像于光锥前表面, 利用光锥的传像特性, 进而在 TDI-CCD 光敏面上成像. 屏幕和光锥前表面固定, 调节汇聚透镜组位置、屏幕上条纹的宽度和运动速率, 依据汇聚透镜组的成像公式可以在光锥前表面上得到密度符合耦合监控要求, 平动速率与 TDI-CCD 行扫描频率同步的鉴别率条纹, 作为成像目标用于耦合过程的监控. 成像系统的光路如图 2. TDI-CCD 输出的视频信号经过前端电路的预处理, 由数据采集卡传送至计算机进行像质评价, 为光锥与 TDI-CCD 胶接面的相对位置、胶层的厚度以及均匀性等参量的修正提供科学的依据, 确保对接与胶合的准确度, 并实现对耦合性能的最终评估<sup>[10]</sup>.

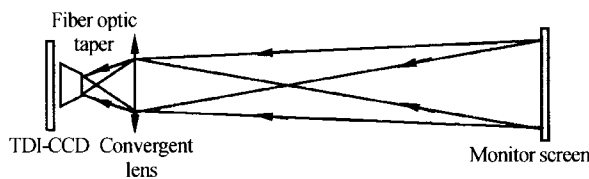


图 2 成像系统光路  
Fig. 2 The schematic of the optical circuit of imaging system

电子目标滚屏显示的软件实现是以微软 WIN 2K/XP 操作系统为运行平台, 采用面向对象开发工具 Visual C++ 6.0 完成的. 程序在设备环境 (DC) 下运用相应的图形设备接口 (GDI) 对象实现绘图和位图操作等相关功能, 在窗口中绘制线条, 并产生实时滚动效果<sup>[11]</sup>. 并且采用多媒体时钟和提高

进程优先等级的技术提高了软件系统的定时准确度和响应速度. 程序流程如图 3.

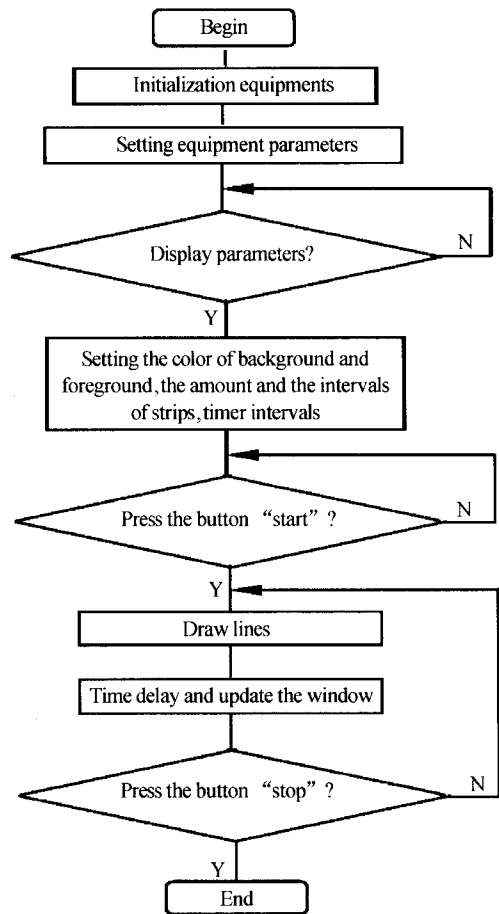


图 3 程序流程图  
Fig. 3 Flow diagram of the program

该方案解决了高分辨率的鉴别率图样无法在监视器或投影仪上精确显示的困难, 对传统实验装置做出了改进, 充分利用了光学系统产生运动图样的机械稳定性和电子学系统在控制、显示及实时处理上的灵活性.

# 2 实验结果及分析

实验首先采用了光学相机对印刷条纹进行静态成像的实验方法来检验经光学系统压缩后的条纹作为监控系统的成像目标像质是否符合要求, 以及是否能再在保证像质的条件下, 实现压缩倍率可调, 为监控系统提供不同密度的鉴别率条纹. 实验中由镜头焦距和压缩倍率确定物面和像面位置, 用照相胶片纪录压缩条纹, 在显微镜下检验压缩条纹的质量.

实验中采用尼康 (NIKON) 相机和镜头 ( $f = 105 \text{ mm}$ ), 曝光时间为  $1/4 \text{ s}$ , 光圈数为  $f8$ , 胶片选用乐凯 ISO  $8^\circ$  黑白胶片, 显微镜采用 NJF-1 正置式金相显微镜.

将宽度为  $0.5 \text{ mm}$  的线对 ( $1 \text{ lp/mm}$ ) 分别压缩到  $40 \text{ lp/mm}$ 、 $50 \text{ lp/mm}$ 、 $60 \text{ lp/mm}$ , 成像于胶片,

在显微镜下进行判读和测量,测量结果如图 4. 三幅图分别为胶片纪录的不同密度的压缩条纹在相同放

大倍率下的显微图像.

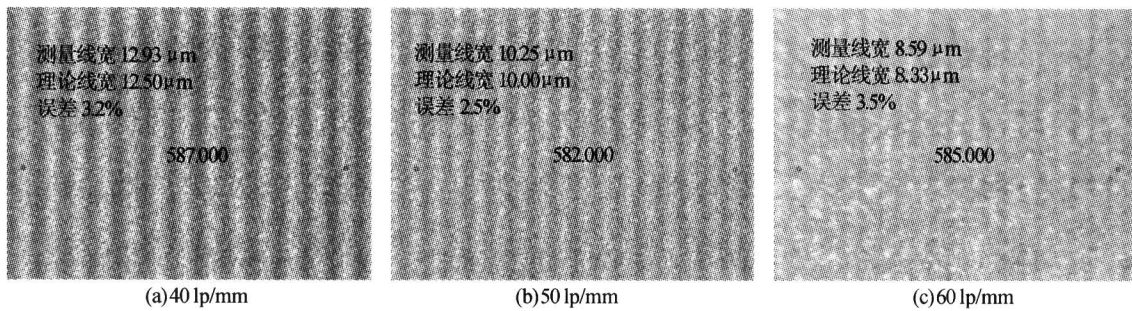


图 4 不同密度压缩条纹的显微图像

Fig. 4 The micrograph of compressed stripes with different density

从图中可以看出:在相同条件下 40 lp/mm 的条纹最清晰,与理论线宽的误差为 3.2%;50 lp/mm 的条纹较为清晰,与理论线宽的误差为 2.5%;60 lp/mm 的条纹较为模糊,与理论线宽的误差为 3.5%. 条纹的清晰程度主要与汇聚镜头的分辨率及调焦准确度有关. 线宽误差主要是由拍摄时的物距、像距误差以及显微镜下的测量误差引起.

为了验证电子显示目标作为光锥与 TDI-CCD 耦合系统成像目标的可行性,实验采用 TDI-CCD 数字相机对监视器屏幕上的运动条纹进行了动态成像实验. 实验中采用我所自行研制的亚像元 TDI-CCD 相机,像元尺寸  $d=13\ \mu\text{m}$ ,镜头焦距  $f=150\ \text{mm}$ ,拍摄物距  $S=3.50\ \text{m}$ . 监视器采用 SAMSUNG SyncMaster 765MB 17 英寸纯平显示器,分辨率设置为  $1024\times 768$  像素,刷新频率设置为 85 Hz.

由物像关系得

$$D/S=d/f \quad (1)$$

式中  $D$  为物方一个像元的等效尺寸,单位为 mm. 行频

$$F=V/D(\text{line/s}) \quad (2)$$

式中  $V$  为物方移动线速度,单位为 mm/s. 又有

$$F=1/T_L=1/MT_P \quad (3)$$

式中  $T_L$  为 TDI-CCD 行周期,  $T_P=250\ \text{ns}$  为像元读出周期,  $M=3000$  为拨码开关的行频预置数. 联立式(1)、(2)、(3),得

$$V=DF=(S/f)dF \quad (4)$$

将实验参量带入式(4),可求出监视器屏幕上与 TDI-CCD 相机行频匹配的运动条纹的速率  $V=0.404\ \text{m/s}$ .

通过设置程序中条纹宽度和定时间隔等参量,调整条纹运动速率;并通过速率测量和微调程序对条纹运动速率进行实时监测和微量调整,以减小微机定时不精确所造成的运动速率误差. 图 5 为 TDI-CCD 相机在不同背景光强下所拍摄到的不同

宽度的运动条纹图像,图中  $d$  表示条纹宽度.

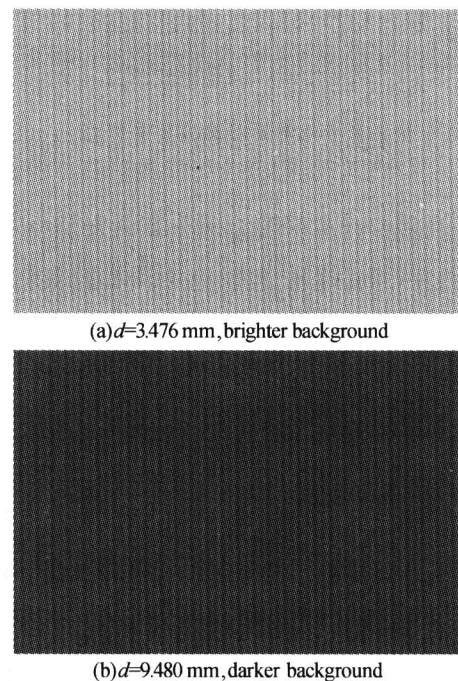


图 5 TDI-CCD 相机采集的运动条纹图像

Fig. 5 Images of moving stripes collected by TDI-CCD camera

从图中可以看出:随着条纹宽度的增加以及目标与背景对比度的提高,采集图像的清晰程度得到改善. 采集图像的分辨率与条纹的运动速率、显示器的分辨率、刷新频率、背景光强等因素相关. 由于实验中采用了 CRT 监视器,采集图像中存在扫描迹线,改用 LED 监视器后,即可消除扫描迹线. 但由于液晶的发光机制,运动条纹的亮度和对比度有所降低,相机采集图像的清晰程度略微下降. 在后续的实验,可以尝试采用刷新频率更快,亮度和对比度更高的其它平板显示器件. 同时在产生条纹的 Visual C++ 程序中,也采用多媒体定时器提高定时准确度,从而更精确的控制条纹的运动速率,减小条纹运动速率与 TDI-CCD 相机行频间的失配误差.

实验结果表明:采用现有的汇聚镜头对静止条

纹进行压缩,至少能够提供 40 lp/mm 较为清晰的条纹作为模拟成像目标,这已基本满足耦合监控系统的使用. 在条纹运动速率与 TDI-CCD 相机行频适配误差之内,电子显示模拟目标能够被 TDI-CCD 相机识别. 从而部分地验证了该方案的可行性.

### 3 结论

电子显示目标滚屏运动的方案从设计思路上做了较大的调整和改进,将传统的实验装置由机电系统改变成光电系统,从而在一系列影响监控质量和实时性的因素方面有了较大的改善. 计算机编程在显示器屏幕上实现平动速率可调的鉴别率条纹,并通过光学系统压缩成像,消除了传统实验装置中机械运动的不稳定因素,提高了运动条纹的稳定性;消除了机械系统中条纹运动速率的不均匀性,提高了条纹运动速率的控制准确度,从而减小了成像目标与 TDI-CCD 扫描行频的失配误差. 由于运用了电子显示目标,成像目标的强度、均匀性得到了改善. 鉴别率条纹的滚屏运动保证了采集和成像的连续性,改善了透射式精密导轨方案实时监控性能较差的弱点;光学系统的运用使得对接胶合监控装置小型化、轻量化,更加便于实际操作.

#### 参考文献

- 王玲玲. 光纤光锥及其应用. 科技情报与经济, 2002, **12**(6):87~88  
Wang L. L. *Sci/ Tech Information Development & Economy*, 2002, **12**(6):87~88
- 王耀祥, 田维坚, 黄琨, 等. 光锥与 CCD 耦合效率的理论分析. 光子学报, 2004, **33**(3):318~321  
Wang Y X, Tian W J, Huang K, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(3):318~321
- Chamberlain S G, Washkurak W D. High speed, low noise, fine resolution TDI CCD imagers. *Proc SPIE*, 1990, **1242**:252~262
- Dalsa Co. Ltd. How TDI Works, Dalsa 1998-1999 Databook, 1998. 75~80
- 杨桦, 朱永红, 焦文春, 等. TDICCD 成像的速度同步分析和实验. 航天返回与遥感, 2003, **24**(1):38~42  
Yang Y, Zhu Y H, Jiao W C, *et al.* *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 2003, **24**(1):38~42
- 许兆林, 孙所义. 提高 TDICCD 相机成像质量的研究. 航空计测技术, 2002, **22**(3):9~12  
Xu Z L, Sun S Y. *Aviation Metrology & Measurement Technology*, 2002, **22**(3):9~12
- 刘良云, 张伯珩, 李英才. 航天 TDI-CCD 相机的 MTF 和像质分析. 光学技术, 2000, **26**(6):481~483  
Liu L Y, Zhang B H, Li Y C. *Optical Technique*, 2000, **26**(6):481~483
- 鲁昭, 刘国媛, 张伯珩. TDICCD 行扫描速率控制技术研究. 光子学报, 1999, **28**(5):455~457  
Lu Z, Liu G Y, Zhang B H. *Acta Photonica Sinica*, 1999, **28**(5):455~457
- 李相国, 汶德胜, 王华, 等. TDICCD 亚像元技术应用于小相对孔径光学系统. 光子学报, 2004, **33**(10):1243~1246  
Li X G, Wen D S, Wang H, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(10):1243~1246
- 李本亮. TDICCD 相机数据采集与图像处理技术. 航天返回与遥感, 1998, **19**(3):64~67  
Li B L. *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 1998, **19**(3):64~67
- 林家明, 张祥. CCD 摄像机 TDI 模式及实时显示技术研究. 光学技术, 2004, **28**(5):455~457  
Lin J M, Zhang X. *Optical Technique*, **28**(5):455~457

## A Method of Producing Testing Object in Monitoring System of Fiber Optic Taper Coupled with TDI-CCD

Liu Wei<sup>1,2</sup>, Zhang Boheng<sup>1</sup>, Bian Chuanping<sup>1</sup>, Zhai Xuefeng<sup>1,2</sup>, Tian Weijian<sup>1,2</sup>, Bu Jiangping<sup>1,2</sup>

*1 Laboratory of Information and Photonics Technology, State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068*

*2 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*

Received date: 2005-04-26

**Abstract** To provide an effective moving resolution stripes to be tested in fiber optic taper coupled with Time Delay and Integration Charge Coupled Devices (TDI-CCD), traditional push-broom imaging laboratory sets were analyzed, and the scheme of electronic object displayed cyclically on the screen was used as an improvement. Designing idea was tested by means of optical camera static imaging and TDI-CCD camera dynamic imaging. The problem that fine resolution patterns cannot display exactly on the screen of monitor or projector was resolved by taking full advantage of the stability of moving patterns produced by optical system and the facility of electronic system on control, display and real time processing. Compared with the traditional laboratory simulative sets of the dynamic push-broom imaging the stability of stripes is improved, the mismatch between the speed of stripes and the line scanning rate of TDI-CCD was reduced. The scheme is not only convenient for coupling monitoring but also available for the image quality testing of the coupling system.

**Keywords** Fiber optic taper; TDI-CCD; Coupling monitoring; Electronic display object



**Liu Wei** was born in 1978. He received the B. S. degree from Technical Physics Department of Xidian University in 2000. Now he is pursuing his M. S. degree in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences. His current research is in remote sensing, fine resolution image and advanced CCD camera.