

光学设计

双线阵 CCD 图像灰度匹配在线校正方法

李季波,王洪彬

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308)

摘要 线阵 CCD 配合转台使用,实现周向图像采集是一种常见方式,具有扫描范围大、分辨率高的优点,但也存在刷新率低的短板。采用两个线阵 CCD 同时扫描方式可有效提高刷新率,但对图像一致性又带来较高要求。影响双线阵 CCD 图像一致性的因素主要包括 CCD 成像非均匀性、图像视场配准程度和图像灰度匹配性,文中围绕双线阵 CCD 图像灰度匹配性,提出了一种图像灰度匹配的在线校正方法,重点解决转台承载的双线阵 CCD 光圈实时调整问题,并通过实验验证了此方法的可行性,可在工程中普及应用。

关键词 双线阵 CCD; 图像灰度匹配; 校正方法; 光圈调整

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2017)-03-0011-04

An On Line Correction Method to Match the Image Grey of Double Linear CCD

LI Ji-bo, WANG Hong-bin

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: Using linear charge-coupled device (CCD) with turntable is a common way to achieve circumferential image acquisition, which has the advantages of large range of scanning and high resolution, but with the shortcoming of low refresh rate. It can effectively increase the refresh rate by double linear CCD simultaneously scanning mode, but it requires a higher image consistency. The element to effect image consistency of the double linear CCD includes imaging heterogeneity, the registration degree of image field and image grey matching. An on line correction method to match the image grey of the double linear CCD is proposed to solve the problem of aperture adjustment at real time of the double linear CCD on the turntable. And the feasibility of the method is verified by experiments, which can be popularized in project engineering.

Key words: double linear charge-coupled device (CCD); image grey match; correctional method; aperture adjust

线阵 CCD 具有成像灵敏度高的优点,已被广泛地应用于工业检测、航天等领域^[1-2]。由转台承载实现周向图像采集是线阵 CCD 使用的一种常见方式,与凝视型面阵 CCD 相比,它具有扫描范围大、分辨率高等优点,但也存在图像刷新率低的不足,采用两个线阵 CCD 同时扫描方式可有效提高刷新率。但若这两个线阵 CCD 成像质量一致性差,必然会对后续图像相关处理带来较大误差,因此,对装调过程中双线阵 CCD 的图像一致性调整带来较高要

求。造成两个线阵 CCD 图像质量不一致的原因主要包括 CCD 成像非均匀性、图像视场配准程度和图像灰度匹配性。

CCD 成像非均匀性反映了相同光照条件下 CCD 各像元之间响应的不一致性,用 PRNU 表示^[3],定义为 CCD 各像元在 50% 饱和曝光量条件下各自输出信号与平均之差的均方差值与平均之比,由式(1)表示如下

$$PRNU = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \times 100\% \quad (1)$$

其中, X_i 是第 i 个像元输出信号; \bar{X} 是平均值; N 为总像元个数。

CCD 成像非均匀性包括光学系统的非均匀性、入射窗口材料透过率各异、成像光敏元响应度的不一致性等,常用的成像非均匀性校正方法有基于定标的校正方法和基于场景的校正方法,以往文献对其校正方法有过具体报道^[3-4]。图像视场配准方法有基于特征提取的图像配准、基于相位相关的频域配准和基于像素灰度值配准等,具体的配准方法以往的文献中也有较多报道^[5-6]。

文中重点围绕双线阵 CCD 图像灰度匹配性对图像一致性的影响,通过调整光圈和电子增益可以改变图像灰度信息,进而优化双线阵 CCD 图像一致性。一般图像中灰度的最大值和最小值是判断 CCD 图像正常的依据,若用 T_h 表示图像正常灰度均值的上限值, T_l 表示图像正常灰度均值的下限值,为了避免图像过亮或过暗,需通过增益调整使整幅图像的灰度均值 \bar{P} 介于 T_l 和 T_h 之间^[7-8]。

$$\begin{aligned} T_h &\leq \bar{P} && \text{过亮} \\ T_l &< \bar{P} < T_h && \text{正常} \\ \bar{P} &\leq T_l && \text{过暗} \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)只是对 CCD 图像灰度有了初步范围规定,若要实现双线阵 CCD 图像灰度匹配性要求,还需进一步调整线阵 CCD 的光圈和电子增益。

由于所涉及的线阵 CCD 为定焦光学镜头,其电子增益调整可在转台扫描成像下实时进行,但光圈调整无法实时进行。以往工程中多采用设备启动采集图像、查看两个线阵 CCD 图像差异、设备停止、手动调整光圈等步骤,如此反复多次,调试复杂低效。而且,两个线阵 CCD 调测完成后,一旦出现设备装配、试验和检测等变动,必须重新对设备进行调试,带来较多不便。为此,文中提出的方法重点解决转台承载的双线阵 CCD 光圈实时调整问题。

1 双线阵 CCD 图像灰度匹配在线校正方法

文中提出的双线阵 CCD 图像灰度匹配在线校正方法包括双线阵 CCD 图像采集及预处理、特征区

域选取及图像灰度值计算和图像灰度匹配校正三个方面。

1.1 双线阵 CCD 图像采集及预处理

采用线扫描 CCD 调测机构和线阵 CCD 配合使用成像。圆型标志物放置在线扫描 CCD 调测机构的运动平台上并随之运动,两个线阵 CCD 静止不动实时采集图像并显示。这样通过图像处理后可在线实时调整 CCD 光圈,而不必停止采集图像再调整,克服了无法在转台上实时调整光圈的难点。

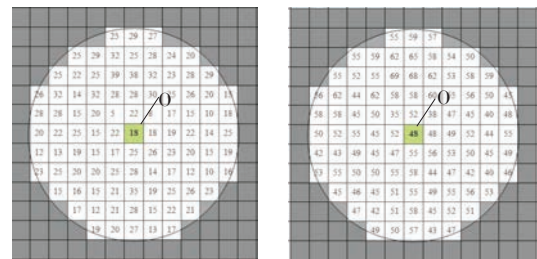
为了保证后续图像灰度微调范围,将两个 CCD 的电子增益调至中间档,通过调整光圈分别实时计算图像亮度均值,使两个 CCD 满足式(2)图像正常要求。

1.2 特征区域选取及图像灰度值计算

由于双线阵 CCD 采集到的图像在空间位置上有差异,如图像之间的相对位移、旋转、尺寸缩放以及其他几何变换^[5],可以通过图像配准消除^[9-10],但配准效率较低,因此,选择图像上的部分区域作为分析处理数据源,可以避开对整幅图像进行灰度对比的难点。

选择圆型标志物作为特征标志物,可以较好地避免因图像局部旋转等带来的影响。通过提取圆型标志物的灰度分布,选择圆型标志物区域为特征区域,并满足覆盖该标志物所成像的要求,可以快速地实现局部图像区域的匹配。

如图 1 所示,以圆型标志物中心点为基准原点 O ,圆的半径为 m 个像素数的长度,形成一个圆形特征区域,整个区域像素数为 n 个。



(a)线阵 CCD1

(b)线阵 CCD2

图 1 两个 CCD 特征区域灰度提取示意图

两个 CCD 特征区域的图像灰度差表示为

$$\Delta F = \sum_{i=1}^n f_1(x_i, y_i) - \sum_{i=1}^n f_2(x_i, y_i) \quad (3)$$

其中, $f_1(x_i, y_i)$ 表示第一个线阵 CCD 图像上 (x_i, y_i) 像素点的灰度值; $f_2(x_i, y_i)$ 表示第二个线阵 CCD 图像上 (x_i, y_i) 像素点的灰度值。

1.3 图像灰度匹配校正

按照式(3)实时计算二者灰度差显示,并与校正要求的灰度差 $\Delta F_{\text{要求}}$ 值比较,按照先调整光圈,后调整电子增益的顺序,进行图像灰度调整,直至不大于 $\Delta F_{\text{要求}}$,调试完成。

2 实验系统

2.1 系统组成

如图2所示,文中涉及的实验系统包括两套线阵 CCD、一套线扫描 CCD 调测机构(含光源)和一台图像采集及处理机等。

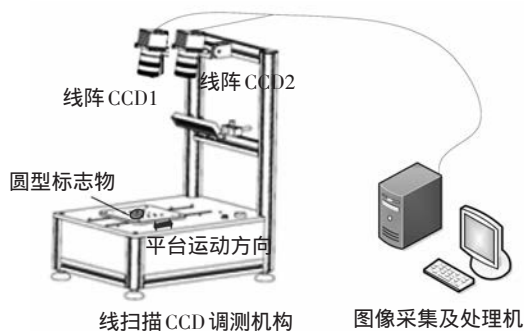


图2 实验系统示意图

两套线阵 CCD 按同一角度对线扫描 CCD 调测机构的运动平台及其上方的圆形标志物成像,尽量

保证两个线阵 CCD 所成像空间差异小。图像采集及处理机负责图像采集、图像预处理、实时的特征区域选取及图像灰度差值计算,为图像灰度调整提供依据。

2.2 校正步骤

(1)如图2所示,两个线阵 CCD 固定于线扫描 CCD 调测机构上;

(2)启动运动平台和图像采集系统,采集图像,图像采集及处理机始终查看显示圆型物的图像;

(3)将两个 CCD 的电子增益都调整到中间位置;

(4)调整两个 CCD 的光圈,分别计算图像亮度均值,满足式(2)要求;

(5)按照特征区域提取方法进行图像特征区域选取;

(6)求得特征区域双线阵 CCD 的图像灰度差 $\Delta F = F_1 - F_2$,并在图像采集及处理机上实时显示;

(7)调整第二个 CCD 的光圈,使 ΔF 减小;

(8)微调第二个 CCD 电子增益,使 ΔF 进一步减小,满足 $\Delta F \leq \Delta F_{\text{要求值}}$ 。

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

实验中采用一款型号为 EC-11 的线阵 CCD,分辨率为 1024×96 ,放置于实验平台上开展验证实验。利用 Matlab 对获取图像数据进行处理,分别得到利用该方法调整前、调整后图像灰度差分布(见图3a、图3b,得到将两个 CCD 进行视场配准后,采用多像素点进行图像灰度校正后的图像灰度差分布(见图3c)。

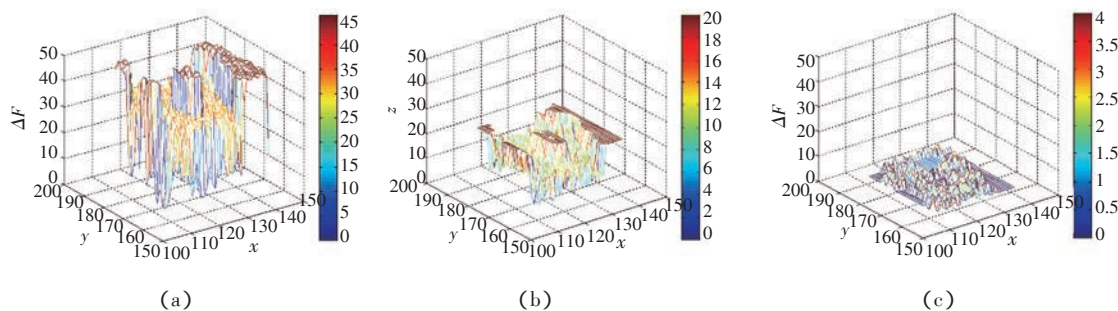


图3 双线阵 CCD 图像灰度匹配前后二者灰度差分布示意图

由图3可知,调整前图像灰度差起伏较大,典型区域灰度差为45,经文中提出的方法校正后灰度差降低为12,且各像素处数据较为平滑,均匀性较好,与经过视场匹配后采用多像素点校正效果大致相当,证明了所提出方法的可靠性。

文中还将这两个线阵 CCD 安装于设备转台上

进行验证,如图4所示。得到了图像灰度匹配前、后的图像。利用 Matlab 对获取的局部区域图像数据进行处理,结论是经图像灰度匹配后两个线阵 CCD 的图像对应像素灰度差异较小,进一步验证了文中提出的双线阵 CCD 图像灰度匹配校正方法的有效性。

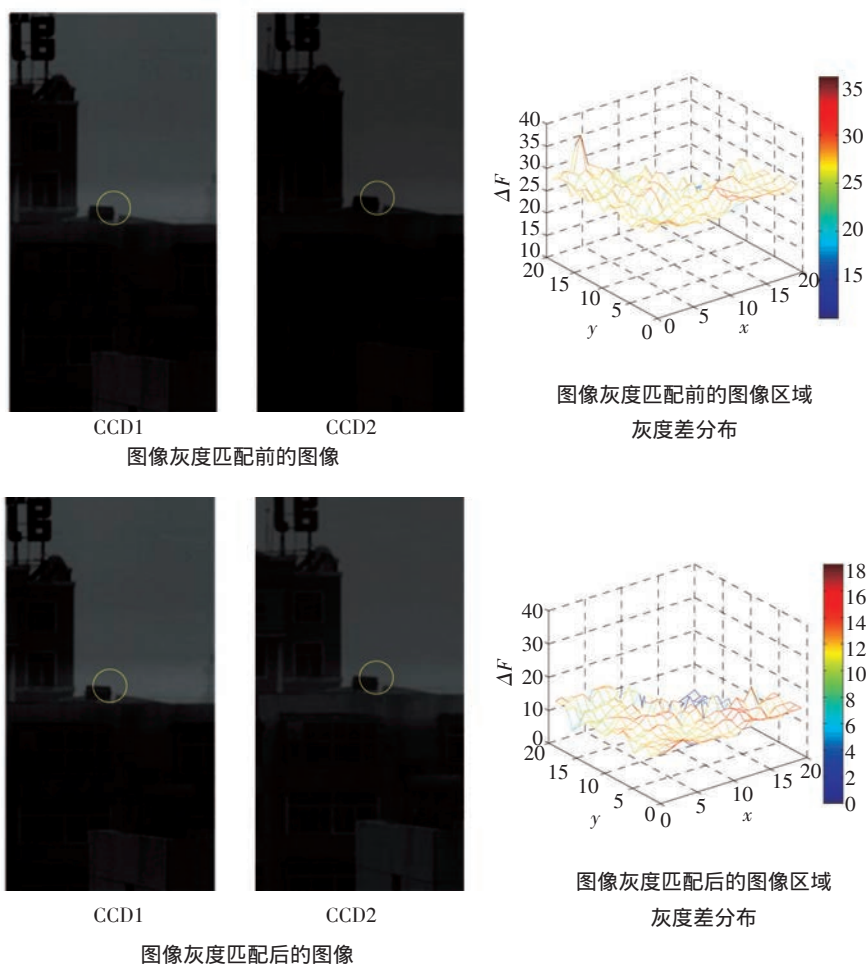


图4 图像灰度匹配前、后双线阵 CCD 分别采集到的场景图像及区域灰度差分布

3.2 误差分析

线扫描 CCD 调测机构的光源均匀性会对两个线阵 CCD 成像产生较大影响,尤其是由于 CCD 空间装配差异引起的圆型标志物成像空间差异,必然对特征区域内像素灰度值产生影响。因此,为了降低实验误差,提出的方法尽量在暗室内开展,消除外部杂散光影响,同时,采用稳定度较高的光源进行辐照,可提高校准精度,具有比自然光源背景简单、且易于控制的优点。

4 结论

在对双线阵 CCD 图像一致性进行分析的基础上,提出了双线阵 CCD 图像灰度匹配在线校正方法,并详细阐述了基于光圈和电子增益进行校正的思路和步骤。该方法有效解决了基于转台的双线阵 CCD 通过光圈无法实时校正灰度的难题,并通过实验验证了其有效性。该方法在设备装调过程中应用简单易操作,可提高设备调试效率和准确度,且每次校正可量化,重复性较好。(下转第 27 页)

强,一旦技术成熟,将广泛应用于各个领域,具有重要的意义。然而,激光等离子体通道引导高压放电的物理机制仍旧属于尚未解决的科学问题,对这一现象中的许多微观物理过程的研究还需要进一步深入,同时,由于受限于飞秒激光技术的发展,等离子体通道的放电距离还远未达到适用的阶段,这也是激光诱导放电需要迫切解决的问题。

参考文献

- [1] Sprangle P, Penano J R, Hafiz B. Propagation of intense short laser pulses in the atmosphere[J]. Phys Rev E, 2002, 66(4): 045418.
- [2] Gamal Y EE-D, Abdel-Moneim N M. Theoretical study of electrical breakdown in nitrogen induced by laser radiation at 1.06 μ m [J]. J Phys D: Appl Phys, 1987, 20(6): 757-761.
- [3] 杨小丽,王俊波,刘炎焱,等.脉冲激光作用下气溶胶导

致大气击穿研究[J]. 强激光与粒子束, 1997, 9(1): 157-160.

- [4] Sircar A, Dwivedi R K, Thareja R K. Laser induced breakdown of Ar, N₂ and O₂ gases using 1.064, 0.532, 0.355 and 0.266 μ m radiation[J]. Appl Phys B, 1996, 63(6): 623-627.
- [5] 韩晓玉,杨小丽.激光大气击穿阈值的数值分析[J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(11): 1655-1659.
- [6] 郝作强,张杰,俞进,等.空气中激光等离子体通道诊断方法比较研究[J]. 中国科学, 2006, 36(1): 38-45.
- [7] 张喆,张杰,李玉同,等.空气中激光等离子体通道导电性能的研究[J]. 物理学报, 2006, 55(1): 357-361.
- [8] 张杰,郝作强,远晓辉,等.超强飞秒激光脉冲在空气中传输研究[J]. 量子电子学报, 2005, 23(3): 282-284.
- [9] 张志刚.飞秒激光技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [10] 柴路,胡明列,方晓惠,等.光子晶体光纤飞秒激光技术研究进展[J]. 中国激光, 2013(1): 1-14.

(上接第10页)

京: 科学出版社, 2006: 15-37.

- [2] Qi Feng-jie. Study on cross-talk of laser jamming on interline transfer CCD[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2014.
- [3] 陈前荣,亓凤杰,王彦斌,等.激光干扰CCD规则亮点分布原理研究[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(11): 113-117.
- [4] 张震,江天,程湘爱,等. CCD强光串扰效应的串扰线缺口现象及其机制[J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(7): 1505-1509.
- [5] 张震,程德艳,师宇斌,等. IT-CCD串扰强度与时间的无关性研究[J]. 现代应用物理, 2015, 6(2): 81-84.
- [6] 孙静,刘国栋,杜立峰,等. 激光探测过程中CCD的串音

饱和现象分析[J]. 光学技术, 2013, 39(6): 535-539.

- [7] 李晓英,牛春晖,郎晓萍,等. 面阵Si-基CCD串音干扰实验研究[J]. 激光杂志, 2016, 37(11): 24-27.
- [8] 周建民,付有余,郭劲,等. 脉冲激光对CCD的软损伤技术研究[J]. 激光杂志, 2005, 26(2): 20-21.
- [9] 沈洪斌,沈学举,周冰,等. 532 nm脉冲激光辐照CCD实验研究[J]. 强激光与粒子束, 2009, 21(10): 1449-1454.
- [10] 郭少锋,程湘爱,傅喜泉,等. 高重复频率飞秒激光对面阵CCD的干扰和破坏[J]. 强激光与粒子束, 2007, 19(11): 1783-1786.

(上接第14页)

参考文献

- [1] 刘亚侠,阮锦,郝志航.线阵TDI CCD遥感相机非均匀性校正的研究[J]. 光学技术, 2003, 29(6): 749-751.
- [2] 岳俊华,李岩,武学颖,等.多TDICCD拼接相机成像非均匀性的校正[J]. 光学精密工程, 2009, 17(12): 3084-3088.
- [3] 朱宏殷,郭永飞,司国良.多TDICCD拼接相机成像非均匀性实时校正的硬件实现[J]. 光学精密工程, 2011, 19(12): 3034-3042.
- [4] 王文华,何斌,韩双丽,等.星上CCD成像非均匀性的实时校正[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6): 1420-1428.
- [5] 李新娥,班皓,沙巍,等.一种大视场TDICCD相机的多

传感器图像配准方法[J]. 液晶与显示, 2014, 29(4): 644-648.

- [6] 王运,颜昌翔.光谱仪图像的亚像素配准[J]. 光学精密工程, 2012, 20(3): 661-667.
- [7] 许秀贞,李自田,薛利军.CCD噪声分析及处理技术[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(4): 343-347.
- [8] 彭妮娜,陈大羽.采用线阵TDICCD相机的实时自动增益控制算法[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(7): 1370-1375.
- [9] 王亮,刘蓉,张丽,等.基于Fourier-Mellin变换的气象卫星光谱图像配准[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(3): 855-858.