

光锥与 CCD 耦合系统中基于算子融合的自动对焦方法

张宏建^{1,2} 田维坚^{1,2} 张 薇^{1,2} 冯桂兰^{1,2} 汪 丽^{1,2}

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所,瞬态光学与光子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 提出了一种基于自动对焦方法的光锥与 CCD 耦合系统,并采用算子融合技术,给出了一种新的基于空域分析的像质评价函数. 经实验证明,本文提出的方法既有效地提高了算法的可靠性,又实现了较高的对焦准确度,较好地解决了在耦合过程中实现光锥与 CCD 最佳耦合效率的问题.

关键词 自动对焦;耦合;像质评价函数;算子融合

中图分类号 O443 **文献标识码** A

0 引言

光锥与 CCD 耦合技术可广泛应用于航天遥感成像、微光夜视等系统中^[1]. 本文探寻光锥与 CCD 器件耦合的最佳技术途径,通过对耦合过程的实时监控,反馈信息控制使光锥与 CCD 器件之间达到 μm 级的耦合准确度,并有效地减少系统的噪音,从而确保耦合质量. 在耦合过程中,如何实时判断耦合效果是其中的难点^[2]. 目前,法国 Thomson 公司已经发出基于面阵的 CCD 耦合成像技术的部分规格的产品;我国对光锥及耦合技术也进行过较长时间的研究,但国内外关于耦合方法及其监控装置尚未见报导.

基于图像处理的自动对焦过程实质上是一个对采样图像判读的过程,为此需要构造一个满足条件的像质评价函数,既要做到无偏性,保证极值点与焦点位置一致;又要做到唯一性,保证只有一个极值,即焦点位置^[3]. 一幅图像是否对焦准确,在空间域上的反映就是图像的边界及细节部分是否清晰. 我们借助空域微分算子通过卷积来获取图像的边界及细节信息^[4].

本文提出采用基于自动对焦方法的光锥与 CCD 耦合系统,有效解决了在耦合过程中实现光锥与 CCD 最佳耦合效率的问题.

1 光锥与 CCD 耦合系统实施方案及算法

由于光锥和 CCD 耦合时,靠肉眼很难判断耦合的成像效果,采用基于自动对焦方法耦合系统,通过计算机对采样图像判读、比较,反馈信息控制步进电机,实现光锥和 CCD 的最佳耦合. 整个系统如图 1.

本系统采用的自动对焦原理就是利用图像处理方法获得图像的微分幅值,并寻找相应幅值的最大值位置,而该幅值的最大值位置就对应图像的最佳

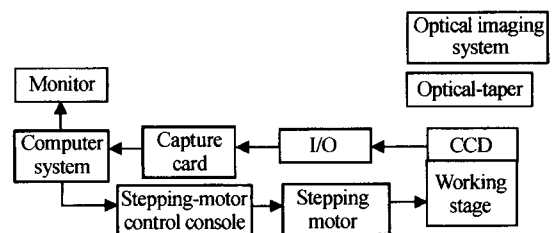


图 1 光锥与 CCD 耦合系统组成框图

Fig. 1 System for coupling optical-taper with CCD 对焦位置^[5].

在实验的过程中,图像先经过图像平均的方法进行了噪音消除处理,噪音信号比较小,故选用一阶梯度算子,定义如下

$$\nabla f(x, y) = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T = [G_x, G_y]^T \quad (1)$$

其梯度值为

$$\text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (2)$$

在一幅原始图像中,它包含有各种朝向的边缘,而通过微分算子检测图像的边缘和图像的边缘方向有着密切的关系, Sobel 算子检测垂直和水平方向边缘有较强的响应, Roberts 算子则易于检测 45° 方向边缘^[4], 所以可以组合利用两个不同的算子估计精确值. 在本方案中,同时使用 Sobel 算子和 Roberts 算子,用并联结构的算子融合技术构造像质评价函数.

选用 Sobel 算子, G_x, G_y 分别为

$$G_x = \{f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)\} - \{f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1)\} \quad (3)$$

$$G_y = \{f(x+1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x-1, y-1)\} - \{f(x+1, y+1) + f(x, y+1) + f(x-1, y+1)\} \quad (4)$$

选用 Roberts 算子, G_x, G_y 分别为

$$G_x = f(x-1, y-1) - f(x+1, y+1) \quad (5)$$

$$G_y = f(x+1, y-1) - f(x-1, y+1) \quad (6)$$

对于初始检测阶段由 Roberts 算子和 Sobel 算子检测的结果,采用按权值融合的方法自适应地加

以关联^[6]. 设 Roberts 算子初始检测结果为 f_1 , Sobel 算子初始检测结果为 f_2 , 权重分别是 ω_1 和 ω_2 , 构造函数

$$f = \omega_1 \sum f_1 + \omega_2 \sum f_2 \quad (7)$$

式中

$$\omega_1 = \frac{\sum f_1}{\sum f_1 + \sum f_2} \quad (8)$$

$$\omega_2 = 1 - \omega_1 \quad (9)$$

由于被测图像照明的不均匀性、光电转换的非线性等因素的影响, 使被测图像引入噪音和误差, 为使质评价函数的计算结果能够准确地反映系统离焦的信息, 尽可能地消除系统误差和随机噪音, 应对采集到的图像数据进行预处理, 得到高质量的图像信号.

由于在 CCD 光电转换的过程中, 产生的噪音是互不相关的, 且均值为零, 采用图像平均的方法, 在图像采集中去除噪音^[7].

处理结果如图 2.

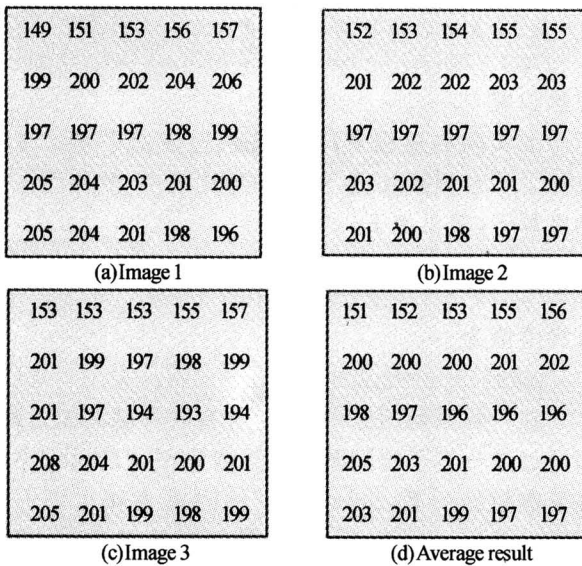


图 2 用图像平均的方法消除随机噪音
Fig. 2 Average the image to avoid the random noise

从 CCD 对同一图像三次采集得到的图 2(a)、(b)、(c), 可以看到这三幅图存在随机误差, 用图像平均的方法消除随机噪音和误差的图 2(d) 取得了较好的效果.

2 实验结果

其处理结果如图 3, 图 4.

图 3(a)、(b) 为目标图像, 图 4(a)、(b) 分别为计算出的图 3 的微分幅值.

从实验中可以看出, 目标图像 1 应用 Sobel 算子对图像判读失败, 产生错误聚焦, 而 Roberts 算子和本文提出的基于信息融合的算子得到的结果比较理想; 目标图像 2 应用 Roberts 算子和 Sobel 算子

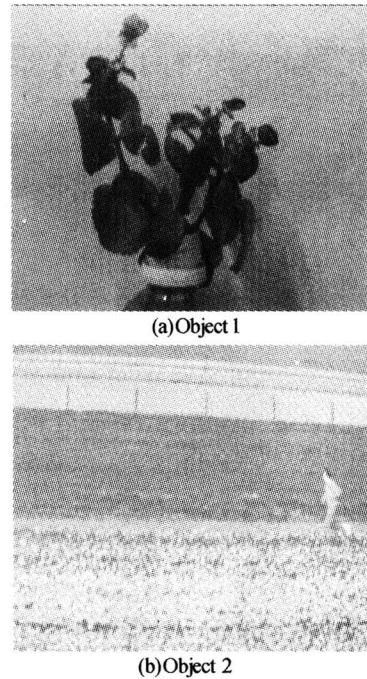


图 3 目标图像
Fig. 3 Target images

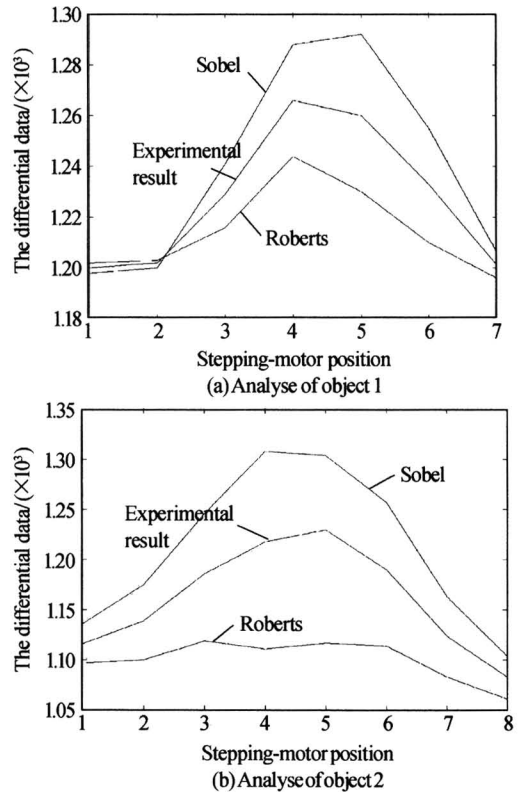


图 4 目标图像的微分幅值
Fig. 4 The differential data for the target image

均产生错误聚焦, 并且 Roberts 算子在聚焦附近变化十分平缓, 而且有两个峰值, 效果更加不理想, 但本文提出的基于信息融合的算子仍然得到了比较理想的结果.

图 5 给出了一组应用不同算子的自动对焦系统拍得的图片. 可以看出, 采用改进的基于算子融合的自动对焦系统在成像质量上优于采用经典的

sobel、Robert 算子的系统。

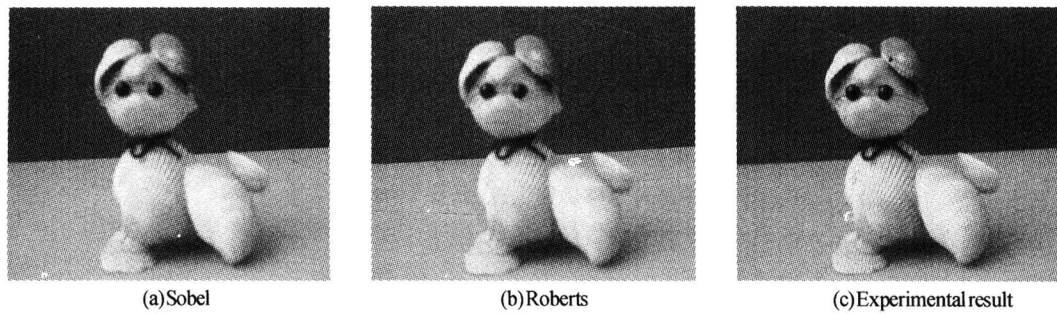


图 5 应用不同算子的三幅图片
Fig. 5 Images using different operator

综合以上典型实验,可以得出本文提出的基于算子融合的算子优于单独应用经典的 Sobel、Roberts 等算子。

根据上述方法得到的原始数据,只要控制电机走到数据中的最大值位置,则镜头就相应被调节到最佳对焦位置,即光锥和 CCD 获得最佳耦合效果。

3 结论

本文采用算子融合技术改进了常规一阶微分算子,提出了一种新的基于空域的像质评价函数。并且实验证明:在对焦准确度及可靠性方面,均优于经典的 Sobel、Roberts 等算子,可广泛应用于图像信息处理领域中。

参考文献

- 1 Xin Fuxue. Optical fiber coupling technique of ICCD. *Infrared and Laser Engineering*, 2000, **30**(3):210~213
- 2 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

- 3 王立强, 林斌. 基于 USB Video Camera 的自动对焦系统. *光电工程*, 2001, **28**(5):32~34
- 4 章毓晋. 图像处理和分析. 第一版. 北京:清华大学出版社, 2000. 179~197
- 5 李奇, 冯华均. 数字图像清晰度评价函数研究. *光子学报*, 2002, **31**(6):736~738
- 6 王培珍, 陈维南. 一种基于融合技术的图像边缘检测方案. *东南大学学报*, 2001, **31**(6):78~80
- 7 Wang G L. Research on auto-focusing system based on image processing. *SPIE*, 1999, **3650**:88~92

Auto-focusing Method Based on Operator Fusion in the System for Coupling Optical-taper with CCD

Zhang Hongjian^{1,2}, Tian Weijian^{1,2}, Zhang Wei^{1,2}, Feng Guilan^{1,2}, Wang Li^{1,2}

¹ Lab of Information and Photonic Technology, State Key Lab of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optical and Precision mechanics of the Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

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

Received date:2005-10-10

Abstract In this paper, an auto-focusing method is introduced to the system for coupling optical fiber-taper with CCD, a new image-evaluation function which based on the operator fusion technique is also proposed. By experiments, it is proved that the reliability of auto-focusing is enhanced, and a higher accuracy is achieved. This method successfully resolves the problem how to obtain the best efficiency of coupling during the coupling process.

Keywords Auto-focusing; Coupled with; Image-evaluation function; Operator fusion



Zhang Hongjian was born on March 4, 1978, in Shannxi, China. He is a candidate for Ph. D. degree in Xi'an Institute of Optical and Precision mechanics of the Chinese Academy of Sciences now. He is currently majoring in the optical engineering.