

Research on High Precision Evaluation Function for Auto-Focus of Reticule*

WANG Quan, HUANG Zhanhua*, CAI Huaiyu, LI Xiangyu, GUO Ziran

(College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University,
Key Laboratory of Opto-electronics Information Technology(Tianjin University), Ministry of Education, Tianjin 300072, China)

Abstract: An auto-focus evaluation method based on discrete cosine transform is proposed to reflect the focusing process of reticule accurately. This method gets the focus evaluation value by processing image of reticule using DCT and combining the effective coefficient of DCT. The experiment is carried out to focus cross reticule and cross aimed lines. Experimental results show that, compared with evaluation methods of spatial domain, the evaluation value proposed performs better when the focusing target is reticule, especially in narrower peak, higher sensitivity and faster operation speed.

Key words: auto-focus; focusing evaluation function; DCT; reticule

EEACC: 7230 **doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2013.01.011**

高精度分划板自动对焦评价函数研究*

王 钊, 黄战华*, 蔡怀宇, 李翔宇, 郭子然

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息技术教育部重点实验室(天津大学), 天津 300072)

摘 要: 提出一种基于离散余弦变换系数的自动对焦评价方法, 用来准确、快速地反映分划板对焦过程。该方法对分划板图像进行离散余弦变换, 通过组合有效的离散余弦变换系数来提供对焦评价价值。进行了十字刻线和十字瞄准线两种不同分划板的对焦实验, 结果表明, 当对焦目标为分划板图像时, 本文方法提供的对焦评价价值, 具有更好的单峰性、更高的灵敏度和更快的运算速度, 拥有比空域评价法更优异的性能。

关键词: 自动对焦; 对焦评价函数; 离散余弦变换; 分划板

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2013)01-0049-04

分划板在测量领域内应用广泛。随着对测量精度要求的不断提高, 针对分划板的自动测量也显得日益重要。分划板类图像因其具有图像结构简单、图像信息较少等特点, 对自动测量中使用的对焦评价函数提出了更高的要求。

常用的对焦评价函数更多针对的是自然景物等图像信息较多的物体^[1,2], 并且对对焦结果的准确性要求不高, 通常使用的是空域算法, 如 Laplacian 法、Robert 法、Tenengrad 法等^[3,4], 也有使用小波变换的^[5,6]。其中尤以 Tenengrad 法效果最好^[3], 但这种方法对图像进行处理时, 计算量大且计算耗时长, 是其不可忽视的缺点。分划板的自动对焦是一个测量过程, 对焦面精度有更严格的要求。因此要求对焦评价函数具有更好的单峰性、更高的灵敏度和更快的运算速度。

为了满足上述需求, 本文进行了离散余弦变换

应用于分划板自动对焦的研究。通过分析离散余弦变换的系数在对焦过程中的表现, 选取了合理的系数组合作为对焦评价价值, 取得了很好的实验效果。

1 离散余弦系数对焦评价法

离散余弦变换 (Discrete Cosine Transform, 简称 DCT) 是 N. Ahmed 等人在 1974 年提出的正交变换方法, 它常被认为是对语音和图像信号进行变换的最佳方法^[7]。图象处理中常用的 DCT 是 8×8 模式^[8], 即将图像分割成若干 8×8 子块, 对每个子块依次进行 DCT。8×8 模式 DCT 系数的计算方法如下:

$$F(u, v) = \frac{C_u C_v}{4} \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{s16} \right] \times \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{16} \right] \quad (1)$$

其中

$$C_{\tau} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \tau=0 \\ 1 & \text{others} \end{cases} \quad (2)$$

而 $f(x,y)$ 则代表子块内的像素灰度值。 8×8 模式的DCT会得到64个DCT系数,这些系数代表的是图像信息在DCT域内不同频率下的分量。

DCT完成的是图像信息由空域至频域的转换,可以将图像的相关信息有效的提取和集中于DCT系数中^[9-11],所以DCT的某些系数应该能正确的反映出物体在对焦过程中信息量的变化趋势,即物体在焦面位置时,信息量的评价价值达到最大,在离焦位置时,信息量的评价价值会变小^[12]。本文重点研究了离散余弦变换中7个主要系数($F(1,1) \sim F(7,7)$)在对焦过程中的表现。实验中定焦镜头使用0.05 mm的步进值,通过改变镜头位置来实现分划板的对焦过程,得到的不同镜头位置下图像的7个DCT系数值曲线,如图1所示。

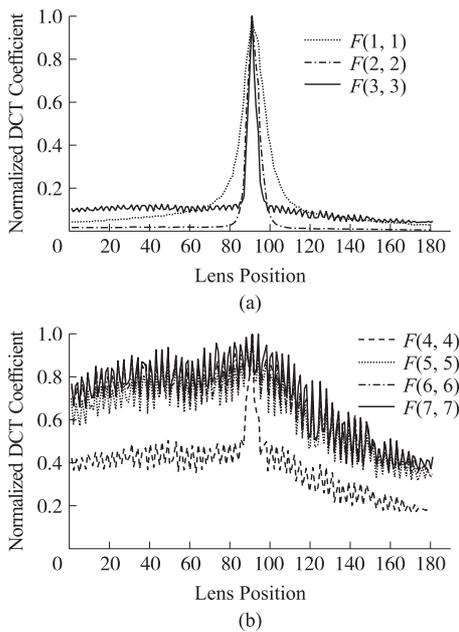


图1 DCT归一化系数对比图

观察图1可知, $F(4,4) \sim F(7,7)$ 系数曲线波动明显,某些系数甚至完全没有表现出单峰性。这几个系数所包含的图像信息中噪声成分较多,所以不适宜作为对焦评价价值。因为这几个系数对应着图像的高频信息,分划板成像时的图像噪声会被融入至这几个系数中,所以无法利用这几个系数值来判断分划板是否对焦成功。 $F(1,1) \sim F(3,3)$ 均比较好的满足了对焦评价函数的要求,表明其包含的图像信息能够正确的反映物体的对焦过程,因而均可以用作对焦评价价值。但是单纯的使用单一系数来表示对焦函数评价价值,会使图像的全部信息不能很好

的被利用,不利于获取到更高精度的对焦评价函数。因此,可以将表现特性较好的三个参数进行加权组合。通过大量实验数据分析,选取特定的加权系数,设计出离散余弦系数对焦评价法的评价价值 FV_{DCT} 计算式如下:

$$FV_{DCT} = \sum \left[\frac{F(1,1)/100 + F(2,2)/10 + F(3,3)}{3} \right]^2 \quad (3)$$

式中的求和代表的是求图像所有子块进行求和。本文后面将该评价方法简称之为DCT系数法。观察式(3)可知,本文设计的DCT系数法,其值只与DCT变换的3个特定系数相关。所以,在实际计算时,没有必要对每个 8×8 区域进行完全的DCT变换。只需要根据式(1)计算出的3个特定系数之后,就可以快速地得到对焦评价价值。

2 实验数据与分析

在实际测量中,对焦评价函数需要满足单峰性、灵敏度和计算耗时等要求。单峰性,要求对焦评价函数曲线图拥有较窄的尖峰;灵敏度,要求对焦评价函数在峰值两侧有明显的变化;计算快速,要求对焦评价函数处理图像的时间较快。

理想的对焦评价函数的图像应该是图2的模式,横坐标代表镜头的位置,纵坐标代表对焦评价价值。图2中 FV_{max} 为函数极大值, x_i 为对应的镜头位置。为了对比各种算法,需要定义如下评价方法:

(1)函数图象的半腰宽度,定义为函数极大值与极小值之差的50%处对应的函数尖峰宽度,主要用于表征单峰性,其值越小越好。计算式为:

$$w = x_B - x_A \quad (4)$$

其中 x_A 和 x_B 满足

$$FV(x_A) = FV(x_B) = \frac{FV_{max} + FV_{min}}{2} \quad (5)$$

(2)函数极大值位置与相邻位置的归一化评价价值之差,主要用于表征灵敏性,其值越大越好。计算式为:

$$\Delta = \frac{FV(x_i) - FV(x_{i-1}) + FV(x_i) - FV(x_{i+1})}{2FV(x_i)} \quad (6)$$

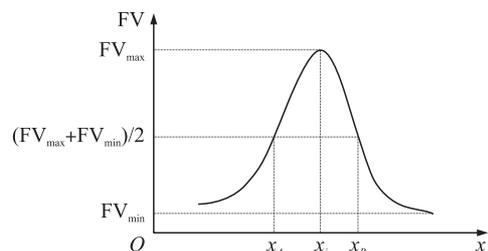


图2 理想对焦评价函数曲线示意图

(3)计算耗时,定义为算法处理一幅图像的平均时间。可以使用对焦评价函数处理多幅图像,并使用程序内部计时的方法来获取平均意义上算法处理一幅图像所需的时间。主要用于表征算法的计算速度,其值越小越好。为了更加客观的对比各算法的耗时时间,四种算法均使用开源的 OpenCV 图像处理库,并在同一台 PC 机上进行测试,处理程序界面如图 3 所示。

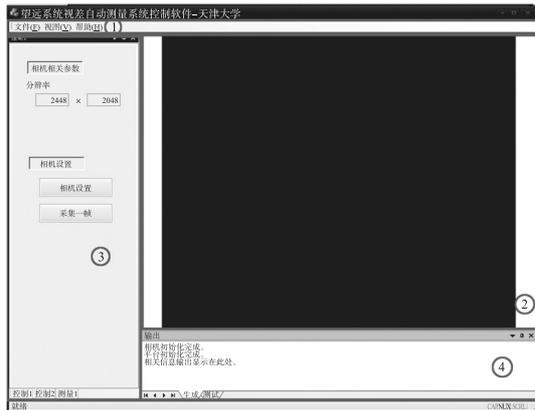


图 3 处理程序界面

实验中选取了两个典型的分划板图样作为对焦目标来测试 DCT 系数法的性能,分别为遮光型的十字刻线和望远镜内的十字瞄准线。对焦过程中,镜头的步进值为 0.05 mm,并使用上位 PC 机进行图像处理。上位 PC 机配置为 CPU, Intel Core i3 530 处理器,主频 2.93 GHz;内存,1.80 GB。图 4 显示的是对焦过程中若干位置的实际图像。显然,当离焦量较小时,人眼已经无法识别出图像信息量的变化。但是一个优秀的对焦评价函数应该能够对这个微小信息量的变化作出明显的响应,而反映这个微小的差别的能力,正是检验评价函数灵敏度的重要依据。

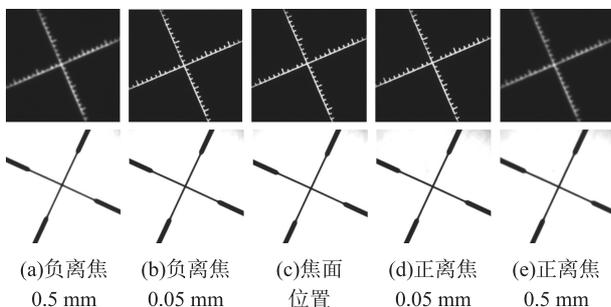
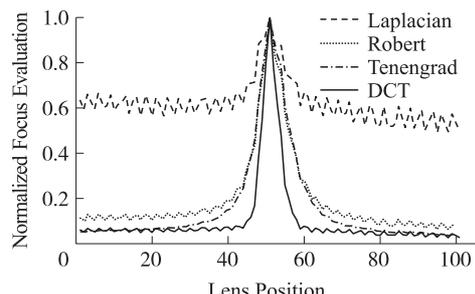
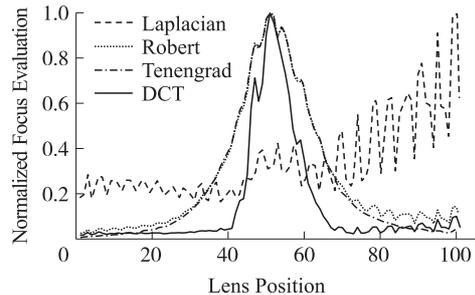


图 4 不同离焦位置的实际图像

为了与空域算法进行对比,对每个位置的图像分别使用 DCT 系数法、Laplacian 法、Robert 法和 Tenengrad 法这四种算法进行处理。得到的对焦曲线图如图 5 所示。并对四种算法进行了单峰性、灵敏度和计算耗时 3 个参数的比较,结果见表 1 和表 2。



(a)十字刻线



(b)十字瞄准线

图 5 四种评价函数归一化对比图

表 1 四种评价算法性能对比表(对焦目标为十字刻线)

	半腰宽度	灵敏度	计算耗时/ms
Laplacian 法	12	0.092 8	10.862
Robert 法	7	0.151 0	9.662
Tenengrad 法	7	0.128 8	9.559
DCT 系数法	6	0.215 9	8.281

表 2 四种评价算法性能对比表(对焦目标为十字瞄准线)

	半腰宽度	灵敏度	计算耗时/ms
Laplacian 法	—	—	10.862
Robert 法	20	0.019 8	9.662
Tenengrad 法	20	0.018 6	9.559
DCT 系数法	16	0.069 8	8.281

由表 2 与表 3 中的对比数据可以看出,DCT 系数法相比空域内的算法,在以分划板为目标的自动对焦过程中,评价曲线拥有更窄的尖峰,在焦面附近具有更高的灵敏度,并具有更快的运算速度。因此,本文设计的 DCT 系数法具有明显的性能优势,能够提供更为合理、有效的对焦评价价值。

3 结论

本文通过研究离散余弦变换的交流系数在以分划板为对焦目标的对焦过程中的表现,提出了一种基于 DCT 系数的对焦评价方法,并进行了实验验证。实验结果表明,当对焦目标为图像信息较少的分划板图像时,本文提出的 DCT 系数法具有更好的

单峰性、更高的灵敏度和更快的计算速度,能够为后续的对焦搜索过程提供更有效的搜索依据,提高对焦过程的速度和准确性。

参考文献:

- [1] Kuo Chungfeng Jeffrey, Chiu ChinHsun. Improved Auto-Focus Search Algorithms for CMOS Image-Sensing Module[J]. Journal of Information Science and Engineering(1016-2364), 2011, 27(4): 1377-1393.
- [2] 谢小甫,周进,吴钦章. 基于无参考结构清晰度的自适应自动对焦方法[J]. 光电工程, 2011, 38(2): 84-89.
- [3] 鲍歌堂,赵辉,陶卫. 图像测量技术中几种自动调焦算法的对比分析[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(1): 121-124, 128.
- [4] 韩芳芳,段发阶,王凯,等. 机器视觉检测系统中相机景深问题的研究与建模[J]. 传感技术学报, 2011, 23(12): 1744-1747.
- [5] 罗明愿,卞红雨,周志娟. 基于图像频域方向模板的目标检测方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(12): 215-217.
- [6] 李亚标,王宝光,李温温. 基于小波变换的图像纹理特征提取方法及其应用[J]. 传感技术学报, 2009, 22(9): 1308-1311.
- [7] 王静,王冰. 基于 DCT 域和纹理复杂度的图像水印算法[J]. 计算机工程. 2011, 37(18): 148-150.
- [8] Lee Sangyong, Kumar Yogendera, Cho Jiman, et al. Enhanced Autofocus Algorithm Using Robust Focus Measure and Fuzzy Reasoning[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology(1051-8215), 2008, 18(9): 1237-1246.
- [9] 黄战华,贾英杰,蔡怀宇,等. JPEG 图像压缩对测量类图像的影响[J]. 光学技术, 2003, 29(4): 506-508.
- [10] 熊哲源,樊晓平,刘少强,等. 一种适用于无线多媒体传感器网络的 JPEG 图像编码算法[J]. 传感技术学报, 2011, 24(10): 1489-1495.
- [11] 郑江云,江巨浪,李强. 基于 DCT 系数误差的图像质量评价模型[J]. 计算机工程, 2011, 37(9): 229-230, 233.
- [12] 刘文耀,王兵振. 面向直线类目标图像检测的对焦算法[J]. 光电工程, 2005, 32(12): 63-65, 70.



王 铨(1985-),男,满族,硕士,主要研究方向为光电图像处理及光电探测技术,quantum2317@126.com;



黄战华(1965-),男,汉族,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为光电图像和光电子信息技术、成像光学与显示及光电探测技术与系统,zhanhua@tju.edu.cn。