

文章编号: 0258-7025(2009)01-0172-05

基于边缘特征的光学图像清晰度判定

倪 军¹ 袁家虎² 吴钦章²(¹ 中国计量学院光学与电子科技学院, 浙江 杭州 310018; ² 中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209)

摘要 在大型光学跟踪探测系统中, 频繁的自动对焦会导致光轴晃动, 引起拍摄的图像产生抖动, 对光学设备测量精度产生影响。针对实时光电探测设备的自动对焦技术, 提出一种对当前图像的清晰程度判断的快速算法。根据图像的清晰程度, 决定光学设备的自动对焦触发时间。首先对目标区域进行变换, 得到典型目标区域的梯度, 检测目标的边缘线及其方向, 对梯度数值拟合, 计算边缘的锐度分布。根据光学测量设备的分割精度要求事先确定阈值, 通过锐度分布函数值, 决定光学测量系统是否需要自动对焦。通过对上万帧不同序列图像的测试, 该算法判断的有效性达到 93%。判断一帧图像的时间在 2 ms 以内。

关键词 图像处理; 图像清晰度; 自动调焦; 边缘特征

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093601.0172

Identification for Optical Image Definition Based on Edge Feature

Ni Jun¹ Yuan Jiahu² Wu Qinzhong²

¹ College of Optical and Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China

² Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China

Abstract In optics tracking and detection system, frequent autofocus always result in shake of axes which will cause image to wobble. A new algorithm that can estimate current frame image of optic equipment be in focus or not is proposed in this paper. According to current image be in focus or not and corresponding threshold, optic control system can choose the time of auto focus automatism. The algorithm measures object edge and edge direction, then get several grads points along the normal line and calculate edge sharpness value. Based on the measure precision of optic equipment, a threshold value will be set beforehand. If edge sharpness value is more than threshold value, it can conclude current frame digital image is in focus. If image is out of focus, optics system then takes autofocus program. This algorithm test several thousands of digital images be get from optics tracking and detection system, the result shows that correctness of this algorithm is more than 93%. It can finish processing one image during the time of 2 ms.

Key words image processing; image definition; automatic focusing; edge feature

1 引 言

光学成像跟踪系统在对目标测量时, 图像清晰是保证跟踪稳定的基础, 所以现代光学成像跟踪系统需要有实时自动调焦的功能。自动调焦的方法有多种, 基于图像处理的方法是目前自动调焦的方向^[1,2]。现有的自动调焦研究主要是针对静止目标, 根据清晰度判断函数的值, 通过大步距粗调焦找到准焦位置附近, 再通过小步距细调焦找到精确的准焦面^[3]。光学成像跟踪系统用于对空间动态目标的测量, 要保持动态目标的图像持续清晰, 就要在目

标跟踪过程中, 间隔一段时间就触发自动调焦控制程序, 进行连续自动调焦。然而, 现有的基于图像处理的调焦方法中, 计算得到的清晰度函数值只能反映图像的相对清晰度, 无法反映当前图像主观的清晰质量^[4]。这就带来一个问题, 如果自动调焦初始, 镜头已经在准焦面位置, 当前图像本身是清晰的, 灰度层次分明。根据自动调焦策略^[5], 镜头需要先移动一大步距, 在不同的焦面位置计算评价函数^[6,7]。这样, 镜头就从准焦面位置移动到离焦位置, 造成图像从原本清晰状态变成模糊状态。对目标跟踪的稳

收稿日期: 2008-08-20; 收到修改稿日期: 2008-09-24

作者简介: 倪 军(1971—), 男, 博士, 讲师, 主要从事光电成像跟踪、图像处理技术等方面的研究。

E-mail: njun11642@126.com

定性和测量精度造成影响。为解决这一问题,有必要在自动调焦前,也就是调焦镜头移动位置前,判断当前图像在视觉上的清晰度,如果灰度层次分明,边缘清晰,就不需要触发自动调焦程序。本文根据空间动态目标图像特点和人眼视觉特性,对边缘过渡确定一个二维阈值,判断图像的边缘锐度分布特征与阈值进行比较,得到当前图像的清晰度质量信息,决定当前是否需要自动调焦。该方法解决了连续自动调焦系统存在的误触发问题。

2 图像清晰度评价一般方法

对图像的清晰质量有主观评价方法和客观评价方法^[8]。

主观评价方法就是让观察者根据事先规定的法则和主观经验,对图像清晰效果给出质量判断,对观察者给出的分数进行加权等处理,最终的成绩就是图像主观清晰度评价。主观评价主要有两种度量尺度,绝对尺度和相对尺度,如表 1 所示。

表 1 主观清晰度评价尺度

Table 1 Measure of subjective definition assessment

Level	Absolute assessment	Relative assessment
1	Perfection	Best in group
2	Good	Better than average
3	Commonness	Average in group
4	Bad	Under average
5	Worst	Worst in group

主观方法可以较好地反映图像主观质量,但难以用数学模型进行描述,在工程上不实用。实际应用中,主观测试方法受到严重限制。

客观评价方法根据用到的原图像信息的多少,分成全参考评价,部分参考评价,无参考评价三种。全参考评价:该方法需要有源图像信息,用被测图像偏离原始图像的误差来衡量被测图像的清晰质量,其常用的参数有均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)。

均方误差表达式为

$$MSE = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i,j) - f'(i,j)]^2 / (M \times N), \quad (1)$$

$f(i,j)$, $f'(i,j)$ 分别表示原始图像和待比较图像的灰度, $M \times N$ 表示图像的高与宽。峰值信噪比为

$$PSNR = 10 \lg \frac{f_{\max}^2}{MSE}, \quad (2)$$

式中 $f_{\max} = \max\{f(i,j)\}$ 常取 255 MSE 为 f_{ij} 的均方值。MSE 和 PSNR 作为经典的客观评价指标既直观又严格,但评价结果往往与人的主观视觉效果不

一致。

部分参考的评价方法是利用部分特征信息比较,包括基于原图像的特征提取和基于非原图像特征信息添加两种方法。事实上,在很多场合下都无法或较难获得参考图像进行对比,如成像系统,用户终端设备等^[9,10],因此无参考评价算法更加困难。无参考源评价体系的研究还处于起步阶段,然而近来这个主题吸引了很大的关注。VQEG (Video quality experts group) 将无参考的图像清晰质量评价标准化作为未来的工作方向之一^[11],基于边缘特征的图像清晰度判定就是从边缘过渡特征判断单幅图像的清晰程度,属于无参考源图像的评价。

3 图像边缘描述

边缘是图像最基本的特征之一,通过图像边缘形状,可以反映目标的清晰程度。一条理想的边缘具有如图 1(a)所示模型的特征,这个模型生成的理想边缘是一组相连像素的集合,每个像素都处在灰度级跃变的一个垂直台阶上。

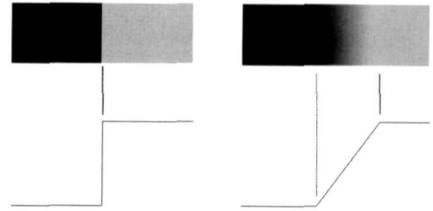


图 1 边缘过渡示意图。(a) 理想边缘, (b) 实际边缘
Fig. 1 Sketch map of edge transition. (a) Ideal edge (b) practical edge

实际上,光学系统、采样、图像采集的不完善使得实际图像的边缘是模糊的,模糊程度与采集系统的性能、取样率、照明条件和离焦量有关。所以实际边缘是一个具有过渡区的斜面^[12]。如图 1(b)所示。如果通过数学参数来表示图像边缘的过渡区宽度,那么就可根据参数数值知道图像的清晰程度。

为获取边缘过渡区的数学描述,实验中实际采集了一组清晰到模糊的图像序列。如图 2 所示,

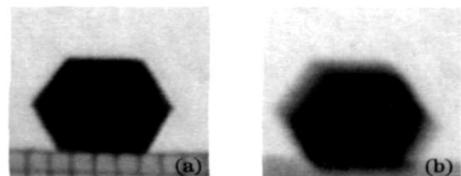


图 2 不同模糊程度图像。(a) 清晰图像, (b) 离焦图像
Fig. 2 Out of focus series images. (a) In focus image (b) vague image

图 2(a)是最清晰的, 图 2(b)是最模糊的。

为表示不同模糊程度的图像边缘过渡特性, 对目标和背景按(3)式求梯度

$$d(x, y) = \{ [f(x, y) - f(x+2, y)]^2 + [f(x, y) - f(x, y+2)]^2 \}^{1/2}, \tag{3}$$

$f(x, y)$ 为 (x, y) 处的灰度值, $d(x, y)$ 为 (x, y) 处的梯度值。梯度表示了目标灰度与背景灰度的过渡, 对不同模糊程度下边缘的法向梯度值变化进行统计。用图 3 显示横坐标边缘法线上的像素位置, 纵坐标是梯度值。图 3(a)对应图 2 中的清晰图像, 图 3(b)对应图 2 中的离焦图像。在序列图中采集 5 幅图像, 从清晰到模糊, 1 最清晰, 5 最模糊。表 2 为边缘法向梯度值分布。

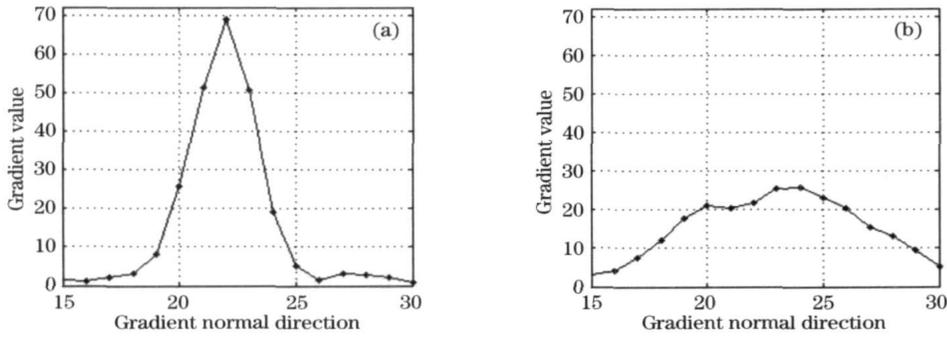


图 3 法向梯度值变化曲线

Fig. 3 Gradient value curve in normal direction. (a) Curve of in focus image, (b) curve of vague image

表 2 边缘法向梯度分布

Table 2 Gradient value distributing in edge normal direction

Image sequence	Gradient in edge normal direction						
1	8	26	51	69	50	19	5
2	8	30	53	58	49	25	7
3	14	24	30	46	35	27	28
4	20	27	28	30	32	25	23
5	21	20	22	25	26	23	20

可以看出其值的变化幅度与清晰度是对应的。即过渡区上的最大梯度值与图像的清晰度成正比关系; 梯度的陡峭程度与清晰度成正比关系。

4 图像清晰度判定算法

通过实验分析, 可以得出: 图像的清晰程度可以根据目标的边缘锐度来评价, 即边缘的法向方向灰度变化越剧烈, 边缘宽度越窄, 图像显的越清晰^[13]。通过对图像边缘的锐度进行计算, 得到反映边缘过渡宽度的参数, 确定图像得清晰质量。

4.1 求边缘方向和位置

对图像按照(3)式进行梯度运算。利用方向函数(4)式寻找具有最大锐度的边缘及其边缘方向。用一个 1×5 的窗口以 $0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 135^\circ$ 方向分别在梯度区域中滑动, 计算 1×5 窗口内 5 个梯度值的和。

$$\begin{aligned}
 S_{0^\circ} &= d(x-2, y) + d(x-1, y) + d(x, y) + d(x+1, y) + d(x+2, y), \\
 S_{90^\circ} &= d(x, y-2) + d(x, y-1) + d(x, y) + d(x, y+1) + d(x, y+2), \\
 S_{45^\circ} &= d(x-2, y+2) + d(x-1, y+1) + d(x, y) + d(x+1, y-1) + d(x+2, y-2), \\
 S_{135^\circ} &= d(x-2, y-2) + d(x-1, y-1) + d(x, y) + d(x+1, y+1) + d(x+2, y+2).
 \end{aligned} \tag{4}$$

在每个像素点计算以上四个方向的值, 取最大值, 扫描一遍图像后, 就得到具有最大梯度的边缘的位置 $P(x, y)$ 和边缘方向。

4.2 清晰度判断

在 $P(x, y)$ 位置沿边缘法线方向在边缘左右各取 3 个点, 加上 $P(x, y)$ 共 7 个点。灰度值为 $f_i, i =$

$0, 1, \dots, 6$ 。取 7 个点间的梯度 $d_i, i = 0, 1 \dots 5$ 。设 F_{max} 是 7 个点中最大灰度与最小灰度的差。如果 F_{max} 小于固定的阈值 F , 认为此区域没有目标边缘。若 F_{max} 大于固定的阈值 F , 则认为本区域内有边缘。实验中阈值 F 取 12。取最大一个梯度

$$d_{\max} = \max(d_1, d_2, \dots, d_5), \quad (5)$$

取连续三个最大梯度

$$d3_{\max} = \max[(d_1 + d_2 + d_3), (d_2 + d_3 + d_4)]. \quad (6)$$

定义两个参数 m_1 和 m_3 :

$$m_1 = d_{\max}/2F_{\max}, \quad (7)$$

$$m_3 = d3_{\max}/2F_{\max}, \quad (8)$$

m_1 反映了边缘法线方向上一个像素距离的最大灰度变化对整个边缘过渡的贡献。 m_3 反映了边缘法线方向上连续 3 个像素距离最大灰度变化对整个边缘过渡的贡献。用这两个参数, 反映当前图像区域中具有最尖锐图像边缘的边缘过渡特征。

在对比度合适的情况下, 当 m_1 、 m_3 达到一定的阈值, 图像的轮廓清晰、连续。图像在视觉上感觉清晰。实验中, 把阈值 M_1 初始值定为 0.35, M_3 初始值定为 0.75。如果 $m_1 > M_1$, 并且 $m_3 > M_3$, 则认为此区域的图像达到清晰要求。

4.3 动态调整阈值 M_1 与 M_3

清晰度判断阈值初始设定为 $M_1 = 0.35$, $M_3 = 0.75$, 然而, 实际序列图像的对比度不是固定的, 一

般都会发生强弱变化, 同时目标会发生距离的变化, 距离很远时, 即使在准焦位置, 目标的边缘清晰度也会下降。如果跟踪过程始终都用固定阈值, 对清晰质量的判断会有失误。所以有必要在跟踪过程中动态调整清晰度判断阈值。

如果判断当前图像不清晰, 那么触发调焦程序, 在调焦成功, 达到稳定状态后, 认为调焦后图像清晰, 这时再做边缘锐度判断, 计算当前图像最尖锐边缘的 m_1 和 m_3 的值, 取代原先的固定阈值 M_1 与 M_3 。这样在整个跟踪过程中, 都会比较准确地判断出当前图像质量。

5 实 验

图 4 是镜头从远离焦面一侧扫描过焦面再到焦面另一端, 图像从不清晰到清晰再到不清晰的一个过程, 中间采样了 8 帧图像, 对图像进行清晰度判断。从视觉上看, 图 4(e) 质量最好。其他图像以图 4(e) 为中心往两端渐次模糊。利用提出的算法评价, 判断的结果见图中 m_1 和 m_3 数据。

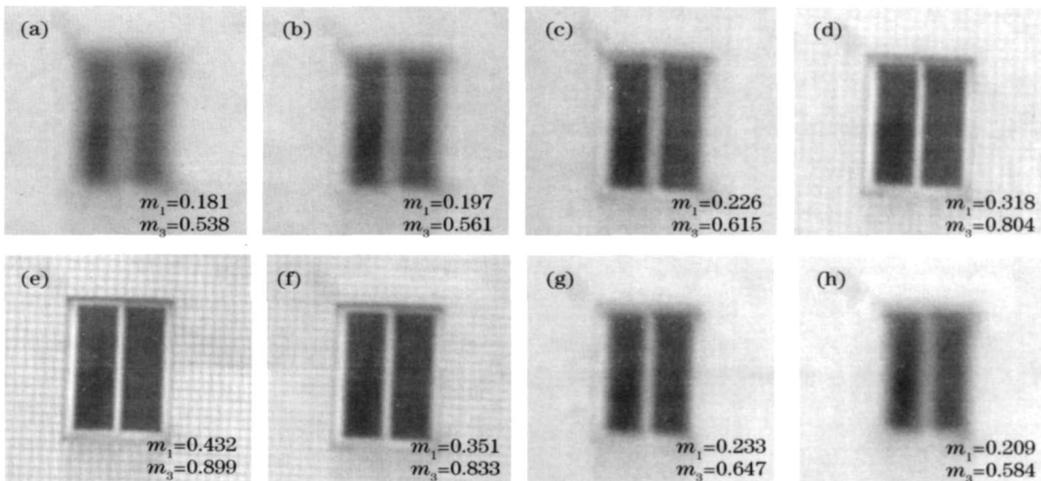


图 4 不同模糊程度的序列图像

Fig. 4 Out of focus serial images

从图 4 可以看出, m_1 和 m_3 的数值与人眼感觉的清晰度是对应的, 与拍摄图像时的离焦量也是成正比关系。在图 4(e) 中, $m_1 = 0.432 > 0.35$, $m_3 = 0.899 > 0.75$, 于是判断图像清晰度符合要求。其他图像计算的数值没有达到阈值 M_1 与 M_3 , 判断图像质量不清晰。如果调焦时, 当前帧图像达到图 4(e) 的清晰程度, 那么就不触发调焦过程。在实际应用中, 可以根据具体的图像清晰度要求来调整阈值, 作为图像清晰好坏的分界。

6 结 论

根据实时自动调焦的需要, 提出一种判断当前帧图像是否清晰的算法, 避免调焦初始的误触发。目标的边缘锐度与清晰度成正比关系, 该算法通过梯度运算, 寻找典型边缘和边缘方向, 利用两个参数判断边缘的锐度信息, 与设定的阈值比较, 来判断当前图像清晰与否。本算法为单帧图像清晰判断建立了一个模型, 可以在没有参考源图时判断图像的清晰度。该算法经过大量实际采样图像测试, 把聚焦

准确的清晰图像与离焦图像混合在一起,进行批量连续判断,图像大小 256×256 。判断正确性达到 93%。在 P4 2.6 GHz 机器上,用 VC6 编程实现,处理一帧时间控制在 2 ms 内,满足实时处理要求。

本文提出的单帧图像清晰判断算法适用于背景简单,具有良好边缘的扩展目标。对于小目标,复杂背景图像,以及边缘比较杂乱的图像判断效果不理想。

参 考 文 献

- 1 Sun Jie, Yuan Yuehui, Wang Chuanyong. Comparison and analysis of algorithms for digital image processing in autofocusing criterion[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(1): 35~39
孙杰,袁跃辉,王传永. 数字图像处理自动图像聚焦算法的分析和比较[J]. 光学学报, 2007, 27(1): 35~39
- 2 Qu Yufu, Pu Zhaobang, Zhao Huijie *et al.*. Influence factor analysis of sensitivity of focus criteria function[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, 25(7): 902~906
屈玉福,浦昭邦,赵慧洁等. 调焦评价函数灵敏度的影响因素分析[J]. 光学学报, 2005, 25(7): 902~906
- 3 Zong Guanghua, Sun Minglei, Bi Shusheng *et al.*. Research on autofocus technique in micro-vision[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, 25(9): 75~82
宗光华,孙明磊,毕树生等. 显微视觉自动聚焦研究[J]. 光学学报, 2005, 25(9): 75~82
- 4 Feng Huajun, Mao Bangfu, Li Qi *et al.*. An auto-focusing system for digital image[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, 31(10): 69~72
冯华君,毛邦福,李奇等. 一种用于数字成像的自动对焦系统[J]. 光电工程, 2004, 31(10): 69~72
- 5 Hu Tao, Chen Shizhe, Liu Guodong *et al.*. Algorithm of Rapid auto-focusing with a long-range[J]. *J. Optoelectronics Laser*, 2006, 17(4): 464~467
胡涛,陈世哲,刘国栋等. 大范围自动调焦快速搜索算法[J]. 光电子·激光, 2006, 17(4): 464~467
- 6 Li Qi, Feng Huajun, Xu Zhihai. Method of improving autofocus speed based on defocus estimation[J]. *J. Optoelectronics Laser*, 2005, 16(7): 580~583
李奇,冯华君,徐之海. 基于离焦估计的对焦速度的提高方法[J]. 光电子·激光, 2005, 16(7): 580~583
- 7 Yang Zaihua, Li Yuhe, Li Qingxiang *et al.*. Visual feedback autofocusing method combining fine and rough adjustment[J]. *Computer Engineering and Design*, 2005, 26(9): 2271~2273
杨再华,李玉和,李庆祥等. 一种粗精结合的图像反馈自动调焦方法[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(9): 2271~2273
- 8 Zhao Yan, Yang Wei. New method of image quality assessment based on edge feature[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(suppl.): 232~238
刘剡,杨威. 一种基于边缘特征的图像质量评价新方法[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(增刊): 232~238
- 9 Wang Haihong, Zeng Ni, Lu Wei *et al.*. Edge detection of laser imaging radar based on wavelet transform and mathematical morphology[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, 35(6): 903906
王海虹,曾妮,陆威等. 基于小波变换和数学形态学的激光成像雷达图像边缘检测[J]. 中国激光, 2008, 35(6): 903906
- 10 Zhou Zhenming, Ding Zhihua, Yang Yaliang. Development of optical coherence tomography based projected index computed tomography system[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, 34(6): 833836
周振明,丁志华,杨亚良. 基于光学相干层析成像的投影折射率计算机层析成像系统研制[J]. 中国激光, 2007, 34(6): 833836
- 11 VQEG. Final report from VQEG on the validation of objective models of video quality assessment, phase II[EB/OL]. <http://vqeg.org/> [2007-01-18]
- 12 Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. *Digital Image Processing* [M]. 2nd ed., Ruan Qiuqi transl., Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. 464~465
冈萨雷斯等. 数字图像处理[M]. 第2版,阮秋琦译,北京:电子工业出版社, 2003. 464~465
- 11 Wang Hongnan, Zhong Wen, Wang Jing *et al.*. Research of measurement for digital image definition[J]. *J. Image and Graphics*, 2004, 9(7): 828~831
王鸿南,钟文,汪静等. 图像清晰度评价方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 828~831