

一种新的图像清晰度评价函数

朱孔凤,姜 威,王端芳,张 进,周 贤

(山东大学 信息科学与工程学院,山东 济南 250100)

摘要:离焦模糊图像清晰度评价函数是采用数字图像处理技术实现自动调焦的一个关键,需要不断地提高评价函数的准确性和有效性。深入研究了各种图像梯度的分布情况后,发现模糊图像小梯度像素数较大,而清晰图像大梯度的像素数则明显比模糊图像的多,因此可以给梯度加一个阈值,去掉梯度小的值保留梯度大的值,这样可以突出清晰图像的优势,易于准确判断。首次提出了一种用图像梯度加阈值求和作为由于离焦产生的模糊图像的评价函数,建立了上述评价函数的数学模型,并给出了实验结果和分析。与以往的图像灰度方差、梯度和、小波变换等评价函数相比,给出的评价函数无偏性好、单峰性强、信噪比高,计算量小,在焦平面附近具有变化趋势明显和灵敏度高的特点。

关键词:离焦模糊图像; 清晰度评价函数; 梯度; 阈值; 自动聚焦

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)04-0464-05

New kind of clarity-evaluation-function of image

ZHU Kong-feng,JIANG Wei,WANG Duan-fang,ZHANG Jin,ZHOU Xian

(College of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract: The clarity-evaluation-function of out-of-focus blurred image is a key factor for auto-focusing by digital image processing and the accuracy and efficiency of the function need to be improved. It is found that the blurred image has large amount of pixels with low gradient while the focused image has obviously more pixels with high gradient than the blurred image after deep study of the gradients of various images. Therefore, we can threshold gradients in order to throw low gradients and remain high gradients. And then the advantages of focused image are obviously showed. A kind of clarity-evaluation-function of out-of-focus blurred image is firstly proposed in the paper. It is the sum of Laplacian operator with threshold. The mathematical model is established individually, and the experimental results and analysis are also given. The clarity-evaluation-function of out-of-focus blurred image given here has the characteristics of non-deflection, single peak value, high sensitivity and SNR.

Key words: Out-of-focus blurred image; Clarity-evaluation-function; Gray-level gradient; Threshold; Auto-focusing

收稿日期:2004-08-25; 修订日期:2004-09-10

作者简介:朱孔凤(1982-),女,山东临沂人,硕士生,主要从事数字图像处理及自动聚焦等方面的研究。

0 引言

自动聚焦是机器人视觉、数字视频系统中的关键技术。视频涉及可视化信息,包括静态图像和动态图像。不论静态或动态图像,获取清晰的图像是第一步。聚焦图像比离焦图像包含更多的信息和细节,这是设计聚焦评价函数的基础。本文采用对拉普拉斯算子先进行阈值处理再求和的方法,来判断图像是否清晰。无偏性好、单峰性强,还具有较好的抗噪性能。最后给出了与其他几种主要评价函数的实验对比结果,证明了该函数在评价图像聚焦质量方面更为准确、稳定和可靠。

1 评价函数分类^[1-5]

传统的图像清晰度评价函数主要有以下几类:

(1) 灰度变化函数。聚焦图像比离焦图像包含更多的灰度变化,这样图像灰度值的变化可以作为评价函数。

(2) 梯度函数。在图像处理中,图像梯度可以用来进行边缘提取,离焦量越小图像边缘越锋利,应该具有更大的图像梯度值。

(3) 图像灰度熵函数。聚焦图像的信息熵要大于离焦图像的信息熵,因此图像的灰度熵也可以作为评价函数。

(4) 频域类函数。这类函数主要基于傅里叶变换,傅里叶变换的高频分量对应图像边缘,而聚焦图像总是具有锋利的边缘,即包含更多的高频分量,这样可以根据图像傅里叶变换后高频分量的含量作为评价函数。

(5) 其他方法。图像灰度梯度向量模方和、Roberts 梯度、拉普拉斯算子^[3]和是属于改进的梯度函数类的图像聚焦评价函数。

小波变换的自相关^[5]和多分辨率分析也是有效的评价函数。对于图像清晰度评价函数来说,它们都应该具有以下几个特性:无偏性、单峰性、能反映离焦特性、较高的信噪比、计算量小。

2 拉普拉斯(四邻域微分)算子^[3-7]

梯度函数类的图像聚焦评价函数是:求出图像的

某种梯度(例如灰度梯度、Roberts 梯度、拉普拉斯算子等),将梯度和作为评价函数,清晰图像对应着最大的梯度和。参考文献[3]中指出拉普拉斯算子法的效果相对较好,因此以拉普拉斯算子(四邻域微分)为例说明这类评价函数。

对于图像序列的第 k 幅图像,在图像窗口 w 内,对每一个像素在 2×2 邻域中采用拉普拉斯算子,得到四邻域微分值,然后在 w 内求和。拉普拉斯算子(四邻域微分)如下式:

$$\nabla f(x,y)=[f(x+1,y)+f(x-1,y)+f(x,y+1)+f(x,y-1)]-4f(x,y) \quad (1)$$

可得评价函数如下:

$$L_k = \sum_{(x,y) \in I} |\nabla f(x,y)| \quad k=1,2,\dots,n \quad (2)$$

对于一幅模糊图像,在每一像素附近的灰度值变化小,则 L_k 小。对最清晰图像,图像的轮廓鲜明, L_k 达到最大值。

3 梯度-阈值清晰度评价函数

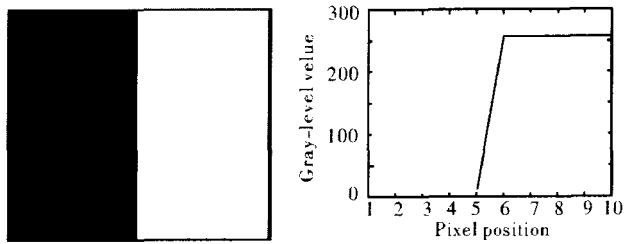
仍以拉普拉斯算子(四邻域微分)为例进行分析。

3.1 减小阈值提高准确性

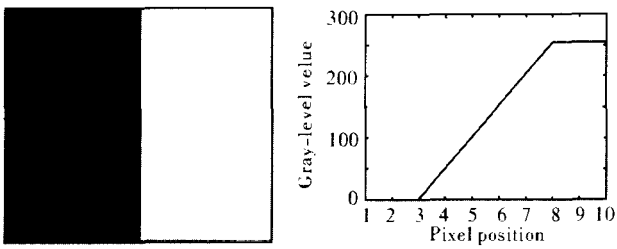
清晰图像的轮廓鲜明,所以在图像的边缘部分其灰度值变化剧烈且过渡带较窄。而模糊图像则恰恰相反,其灰度值变化虽然相对缓慢但过渡带较宽,使得小梯度值的像素数增大,如图 1 所示。

图 2 是对模糊图像和清晰图像分别求拉普拉斯算子,并对所得结果进行直方图统计。从图 2 中可以看出,在小梯度值上模糊图像的像素数大于清晰图像,而在较大的梯度值上清晰图像的像素数明显大于模糊图像。对其他图像进行分析同样具有这种规律。图 3 给出了另外一个背景比较复杂的彩色目标图像(2)的 R 分量的梯度直方图统计(RGB 三个分量的统计结果是相似的),同样可以得出这个结论。

模糊图像小梯度像素数较大的这种特点使得图像在过渡带区域内某点的梯度值虽然较小,但梯度和却不一定小或者和清晰图像的差别不大,这使得评价函数的准确性和有效性不高。



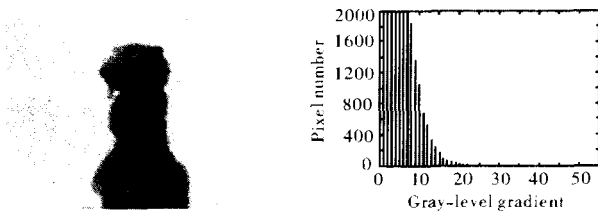
(a) 清晰图像
(a) Clear picture



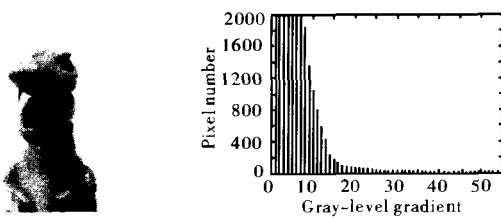
(b) 模糊图像
(b) Blurred picture

图 1 过渡带的比较

Fig.1 Comparison of transitions



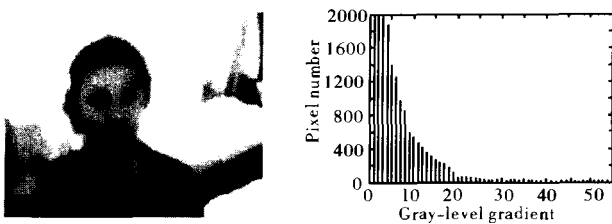
(a) 模糊图像(1)
(a) Blurred picture(1)



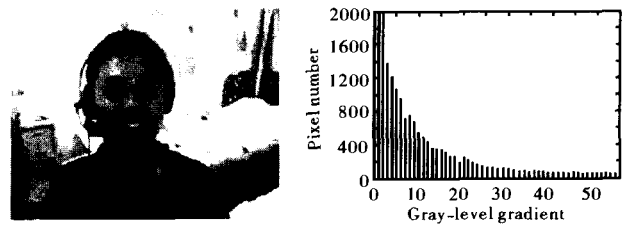
(b) 清晰图像(2)
(b) Clear picture(2)

图 2 图像(1)的梯度直方图

Fig.2 Gray-level gradients of picture (1)



(a) 模糊图像(2)
(a) Blurred picture (2)



(b) 清晰图像(2)
(b) Clear picture (2)

图 3 图像(2)的梯度直方图

Fig.3 Gray-level gradients of picture (2)

为了更有力地证明这个结论,表 1 给出了离焦到聚焦再到离焦的十幅图像(1)在不同梯度值上的像素数,其中第四幅图像为清晰图像。

表 1 系列图像(1)的梯度值

Tab.1 Gray-level gradient of a series of picture (1)

Gradients	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	5495	5432	5335	5279	5290	5320	5432	5517	5476	5400
5	3678	3586	3515	3583	3605	3544	3643	3698	3643	3706
8	1842	1779	1935	1889	1809	1936	1844	1855	1887	1841
10	1052	1011	1069	1075	1060	1075	1009	1011	1053	1012
15	167	199	216	251	251	252	189	157	153	166
16	94	127	179	209	136	160	113	120	101	75
17	66	92	148	151	152	117	105	73	66	51
18	44	78	97	110	131	83	64	48	44	47
19	32	56	79	99	82	78	46	43	23	28
20	14	30	70	80	75	50	27	23	20	17
21	11	17	61	77	82	47	26	7	17	14
22	10	19	43	54	51	27	15	5	14	6
23	5	11	39	65	46	20	0	4	9	1
>25	5	28	150	310	250	48	12	6	3	2

从表中可以看出:梯度值小于 8 时,模糊图像的像素数明显大于清晰图像的像素数;梯度值为 10 时,模糊图像的像素数和清晰图像的像素数相差不多;梯度值大于 15 时,清晰图像的像素数明显大于模糊图像的像素数。

为了使评价函数在峰值两侧具有更好的单调性,必须减小过渡带对梯度和的影响,因此需要抑制过渡

带在梯度和中所占的比重。可以采用对梯度矩阵进行阈值处理（阈值的选择因梯度函数的不同而不同）的方法，去掉较小的梯度值，减小小梯度值的负面影响，提高评价函数的有效性和准确性。

3.2 加大阈值提高信噪比

对图像进行微分运算或梯度运算，虽然获得了图像的边缘及细节信息，但同时也加强了噪声，当噪声引起的干扰达到一定程度时，就会产生对焦错误，这一点参考文献[2]给出了充分的证明。为避免出现这种情况，对图像进行 FFT，然后让频谱通过带通滤波器，在获取图像高频信息的同时能够滤掉更高频的噪声，但算法复杂耗时。参考文献[2]在微分之前过滤噪声，虽然在过滤噪声的同时能很好地保护边缘和细节信息，但对图像进行预处理会增加自动聚焦的计算量，影响评价函数的实时性。

为了在滤掉更高频噪声的同时保证评价函数的实时性，可以再给梯度矩阵加一个大的阈值，去掉梯度值非常大的部分（即噪声部分）。这相当于，让梯度矩阵通过一个带通滤波器，但不会增加计算量。既不用对图像进行预处理，又没有复杂耗时的算法，同时还提高了信噪比。

3.3 评价函数

设小阈值为 M ，大阈值为 N ，根据上面的分析，梯度阈值评价函数可用下式表达。

$$\nabla = \begin{cases} 0 & |\nabla f(x,y)| < M \\ |\nabla f(x,y)| & M \leq |\nabla f(x,y)| \leq N \\ 0 & |\nabla f(x,y)| > N \end{cases} \quad (3)$$

清晰度评价函数如下：

$$L_k = \sum_{(x,y) \in I} \nabla \quad (4)$$

$\max\{L_k\}$ 对应的图像为清晰图像。

该评价函数理论依据充分，计算量小，算法简单不耗时，具有较高的准确性和稳定性，而且在一定程度上减少了图像噪声引起的对焦错误。

4 计算仿真及结果

为了证实所提出的方法，对不同的图像进行了计算，给出实验结果，并与其他方法进行比较来证实所提

出方法的可行性。实验中选用了图像(1)对应的十幅离焦-对焦-离焦图像，各方法的归一化曲线如图 4 所示。从图 4 中可以明显看出：梯度-阈值函数曲线具有唯一的峰值，在峰值两侧具有很好的单调性，比标准差和未设门限的方法更加陡峭且不会增加计算量，比小波变换的计算量小且更陡峭，和参考文献[2]相比保证了对噪声的抑制，同时减小了计算量，可见更好地满足了对图像聚焦评价函数的要求。

为了进一步说明该法的通用性，图 5 给出了另外一系列比较复杂的彩色图像(2) R 分量的归一化函数曲线，从结果可以看出同样具有较理想的效果。

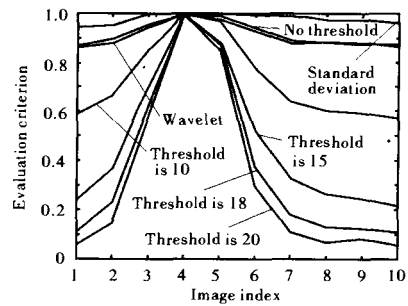


图 4 图像(1)的函数曲线图

Fig.4 Curves of picture(1)

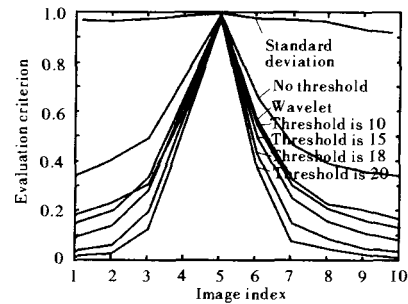


图 5 图像(2)的函数曲线图

Fig.5 Curves of picture(2)

需要强调的一点是：并不是阈值取得越大效果越好。经过大量的实验发现，最佳阈值的选取与图像的内容有关。如果图像的灰度值变化缓慢，而阈值过大，会使起关键作用的梯度值丢失而造成误判。因此，对变化缓慢的图像阈值应稍小一些，变化剧烈的图像阈值可适当大一些。同时还对阈值的优化问题做了进一步的研究，发现对于四邻域微分的拉普拉斯算子，阈值在区间[15, 20]时效果最好，对灰度值变化缓慢和

剧烈的图像都非常准确有效,适用于各种图像。

5 结 论

本文针对计算机视觉中较为重要的图像聚焦评价函数问题,提出了一种新的梯度-阈值函数评价方法。该函数是在对图像梯度矩阵的深入研究的基础上提出的,其理论依据充分,比常用的评价方法更容易实现,计算量小,信噪比高,评价结果更为准确、稳定和可靠,是一种简单有效的图像聚焦评价函数,适用于各种类型的图像。在实验中,针对两种典型的图像:背景简单的灰度图像和背景复杂的彩色图像进行仿真,均得到较理想的效果。

参考文献:

- [1] KANG Zong-ming,ZHANG Li,XIE Pan.Implementation of an automatic focusing algorithm based on spatial high frequency energy and entropy[J].Acta Electronica Sinica (康宗明,张利,谢攀.一种基于能量和熵的自动聚焦算法.电子学报),2003,31(4):552-555.
- [2] ZHU Zheng-tao,LI Shao-fa,CHEN Hua-ping.Research on auto-focused function based on the image entropy[J].Optics and Precision Engineering(朱铮涛,黎绍发,陈华平.基于图像熵的自动聚焦函数研究.光学精密工程),2004,12(5):537-542.
- [3] WANG Li-qiang,LIN Bin,XU Xiang-dong,et al.An automatic focusing system based on USB video camera[J].Opto-Electronic Engineering(王立强,林斌,徐向东,等.基于 USB Video Camera 的自动对焦系统.光电工程),2001,28(5):32-34.
- [4] ZHANG Hong-qun,ZHANG Xue,XIAO Wang-xin.Adaptive thresholds edge detection for image based on wavelet transform[J].Infrared and Laser Engineering(张宏群,张雪,肖旺新.小波变换的自适应阈值图像边缘检测方法.红外与激光工程),2003,32(1):32-34.
- [5] CAO Mao-yong,SUN Nong-liang,YV Dao-yin.Study on clarity-evaluation function of out-of focus blurred image[J].Chinese Journal of Scientific Instrument(曹茂永,孙农亮,郁道银.离焦模糊图像清晰度评价函数的研究.仪器仪表学报(增刊)),2001,22(3)(S):259-260,268.
- [6] ZHU Shi-ping,FANG Jian-cheng,ZHOU Rui.New kind of energy spectrum entropy image focusing evaluation function[J].Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics(祝世平,房建成,周锐.一种新的能量谱-熵图像聚焦评价函数.北京航空航天大学学报),1999,25(6):720-723.
- [7] Widjaja J,Jutamulia S.Wavelet transform-based autofocus camera systems[A].The 1998 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems[C].1998.49-51.
- [8] DU Qi, XIANG Jian-yong, YUAN Sheng-chun.Study on thresholding segmentation for infrared image based on edge detection[J].Infrared and Laser Engineering(杜奇,向健勇,袁胜春.基于边缘强度的红外图像阈值分割方法研究.红外与激光工程),2004,33(3):288-291.
- [9] WANG Qian-qian, LIU Jing-hai, LIN You-na.Study on unequally spaced sampling parameters in rosette scanning imaging subsystem [J].Infrared and Laser Engineering(王茜倩,刘敬海,林幼娜.玫瑰扫描亚成像系统中非均匀采样参数的确定.红外与激光工程),2002,31(4):322-325.
- [10] JIANG Yue-song,QIU Zhi-wei,LI Zheng .One-dimensional digital computation and realization on MATLAB of point spread functions[J].Infrared and Laser Engineering(江月松,邱志伟,李铮.点扩散函数的一维数值计算及其 MATLAB 实现.红外与激光工程),2004,33(4):405-408.

书 讯

《熵与信息光学》简介

《熵与信息光学》由美籍华人杨振寰教授著,哈尔滨工业大学陈历学教授、宋瑛林教授等人翻译,《红外与激光工程》编辑部编辑,天津科学技术出版社出版。内容包括:信息传输导论;衍射与信号分析;光学空间信道与编码原理;熵与信息;伏魔师与熵耗费;观测和信息;像恢复与信息;信息传播的量子效应;光学相干理论;光学小波变换;光学模式识别;光学计算和纤维光学通信。

全书共计 20 余万字,314 页,定价 46 元。有需求者请与《红外与激光工程》编辑部联系,电话:(022)23009840。