

# 强散粒噪声下聚焦评价函数的研究

李丽宏<sup>1,2</sup> 张明路<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 河北工业大学机械学院, 天津 300130; <sup>2</sup> 河北工程大学信电学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要** 针对强散粒噪声背景下图像聚焦精度差的问题,对聚焦评价函数处理过程进行了深入的研究。在对常规图像系列进行实验的基础上,得出改进的拉普拉斯算子(SML)与拉普拉斯算子聚焦评价函数各方面性能较优。针对强散粒噪声图像,提出在中值滤波后,采用分水岭算法对滤波图像进行过分割处理,对分割的各小区域块,求取其均值,用均值代替各区域内像素灰度值,能较好地抑制噪声,再利用 SML 或拉普拉斯算子聚焦评价函数进行自动聚焦。实验表明,针对强散粒噪声图像提出的聚焦评价处理方法,其精度接近于非强散粒噪声图像系列,同时此算法具有较好的稳健性。

**关键词** 图像处理;聚焦评价函数;分水岭算法;强散粒噪声;中值滤波

中图分类号 TP391.4 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP49.111103

## Research of Focusing Evaluation Function Under a Strong Shot-Noise Background

Li Lihong<sup>1,2</sup> Zhang Minglu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China  
<sup>2</sup> School of Information and Electronic Engineering, Hebei University of Engineering,  
Handan, Hebei 056038, China

**Abstract** Aimed at focusing precision problems under a strong shot noisy background image, the processing of focusing evaluation function is deeply studied. Based on the experiment of conventional image sequences, sum of modified laplacian (SML) and laplacian focusing evaluation functions have better performance. Aimed at strong shot noisy image sequence, an algorithm is provided that this image sequence is implemented with median filtering. Then this sequence is over-segmented using the watershed algorithm in order to obtain area blocks. The pixel value is substituted by the mean value of this area block, which can reduce the shot noise's influence. Finally, this image sequence is processed by SML or laplacian focusing evaluation function. Experimental results show that this processing's accuracy is close to the image sequence without strong shot noise. This algorithm has good robustness.

**Key words** image processing; focusing evaluation function; watershed algorithm; strong shot noise; median filtering

**OCIS codes** 110.3000; 110.2970; 100.2000

## 1 引言

自动聚焦技术作为计算机视觉、数字视频系统、显微视觉和自动图像测量中的关键技术,受到广大学者的关注。自动聚焦技术的核心是图像的清晰度评价函数,聚焦评价函数的准确性、有效性直接影响着聚焦效果的好坏。

在图像的获取和传输过程中,经常会受到如大气环境和光学传感器等多个环节的影响,导致图像退化,

收稿日期: 2012-07-02; 收到修改稿日期: 2012-08-15; 网络出版日期: 2012-10-15

基金项目: 国家 863 计划(2007AA04Z229)和河北省自然科学基金(F2012202074)资助课题。

作者简介: 李丽宏(1974—),女,博士研究生,副教授,主要从事机器视觉和光电图像信号处理等方面的研究。

E-mail: anqblhh@163.com

导师简介: 张明路(1964—),男,博士,教授,主要从事移动机器人与特种机器人等方面的研究。

E-mail: anqblhh@126.com

带有斑点噪声,信噪比降低<sup>[1]</sup>。对强噪声图像,在传统滤波处理之后,采用常规的聚焦评价函数处理过程进行自动聚焦,效果是非常差的。因此本文针对强噪声背景下的图像,进行了聚焦评价函数处理过程的研究。

## 2 聚焦评价函数理论基础

聚焦评价函数有两类:空间域聚焦评价函数和频域聚焦评价函数。常用空间域聚焦评价函数有边缘检测方法、灰度梯度法和灰度差分法等。频域聚焦评价函数是先把图像转换到频域中进行评价的,转换函数有傅里叶变换与小波变换等<sup>[2]</sup>。一般频域聚焦评价函数计算量较大,故采用空间域聚焦评价函数。

良好的聚焦评价函数应具有4个基本性质:1)单峰性,对同一成像目标系列图像,最大评价函数值应恰好对应最清晰的图像;2)单调性,评价函数的峰值两侧,一定区间内应具有明显的单调增与单调减特性;3)评价函数峰值两侧的斜率的绝对值比较大;4)计算量小,实时性好。同时为了定量评价聚焦函数的优劣性,文献[3]列出了评价函数指标,能更精确地评价聚焦函数。评价指标为:1)灵敏度;2)陡峭区宽度;3)陡峭度;4)平缓区波动量;5)清晰度比率;6)局部极值因子。因为聚焦精度不仅与图像的清晰度有关,还与聚焦区域的选择有关,所以在计算聚焦评价函数前需要确定聚焦窗口。如果窗口选择的过大,一方面运算量增大;另一方面,窗口中背景图像所占比重会较大,影响判断准确性,同时评价函数可能会出现“双峰”或“多峰”现象。如果聚焦的窗口选择过小,一方面易受噪声的影响;另一方面,目标图像容易偏离窗口,导致误判。

一般情况下,把几何中心当作“重心”选取聚焦窗口,但此方法具有一定局限性。例如,目标图像没有为中心位置,按此方法所选取的聚焦窗口就不合理。为了避免上述情况,采用基于图像一阶矩的聚焦窗口选择算法,以图像一阶矩计算的重心为中心,区域范围大小的选择需结合具体处理的图像尺寸与图像内容而定,计算区域是以一阶矩的重心为中心,取240 pixel×230 pixel区域大小。

常用的空间域聚焦评价函数<sup>[4~7]</sup>有7种:

Brenner 函数:

$$F_{\text{Brenner}} = \sum_{i,j} |f(i,j) - f(i+2,j)|^2, \quad (1)$$

式中  $f(i,j)$ :  $(i,j)$  位置像素灰度值。

绝对梯度函数:

$$F_{\text{SMD}} = \sum_{i,j} [|f(i,j) - f(i,j-1)| + |f(i,j) - f(i-1,j)|]. \quad (2)$$

Roberts 算子梯度函数:

$$F_{\text{Roberts}} = \sum_{i,j} [|f(i,j) - f(i+1,j+1)| + |f(i+1,j) - f(i,j+1)|]. \quad (3)$$

Sobel 算子梯度函数:

$$F_{\text{Sobel}} = \sum_{i,j} [|F_x(i,j)| + |F_y(i,j)|], \quad (4)$$

式中  $F_x(i,j)$  为  $x$  方向的一阶 Sobel 算子差分;  $F_y(i,j)$  为  $y$  方向的一阶 Sobel 算子差分。

拉普拉斯算子函数:

$$F_{\text{laplacian}} = \sum_{i,j} [f(i-1,j) + f(i+1,j) + f(i,j-1) + f(i,j+1) - 4f(i,j)]^2. \quad (5)$$

改进的拉普拉斯算子(SML)函数:

$$F_{\text{SML}} = \sum_{i,j} [|2f(i,j) - f(i-1,j) - f(i+1,j)| + |2f(i,j) - f(i,j-1) - f(i,j+1)|]^2. \quad (6)$$

Vollath 函数:

$$F_{\text{Vol}} = \sum_{i,j} f(i,j) |f(i+1,j) - f(i+2,j)|. \quad (7)$$

方差函数:

$$F_{\text{var}} = \sum_{i,j} [f(i,j) - \bar{f}]^2. \quad (8)$$

采集了28幅模糊-清晰-模糊图像系列,如图1所示。

针对图1的图像系列,分别对空间域聚焦评价函数进行了分析与比较,仿真曲线如图2、图3所示。图2



图 1 图像序列

Fig.1 Image sequences

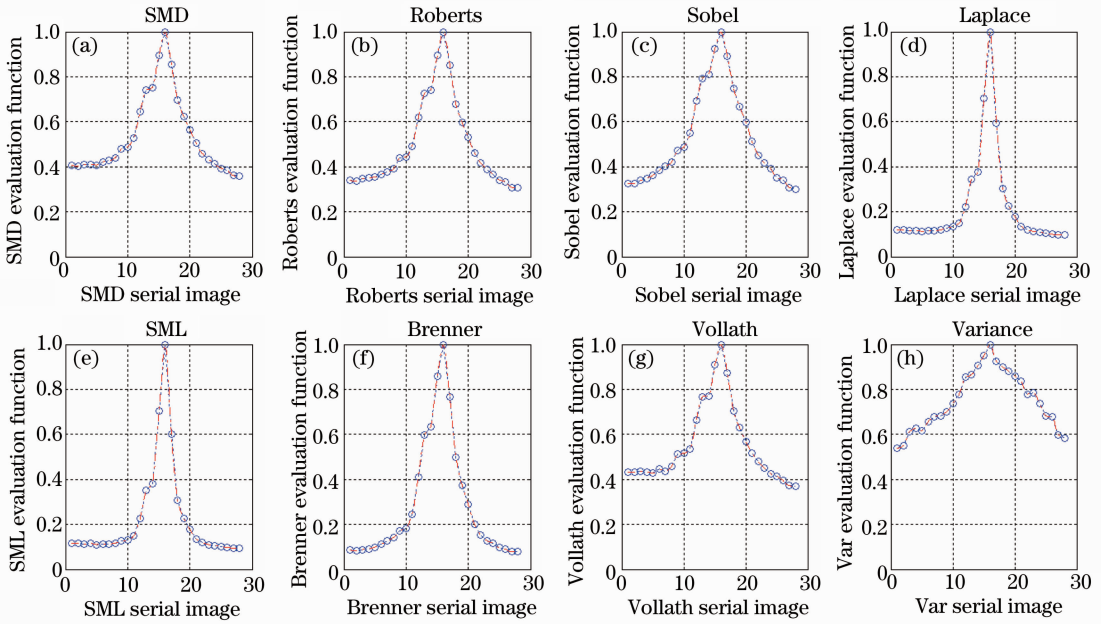


图 2 图像序列仿真结果

Fig. 2 Simulation results of image sequences

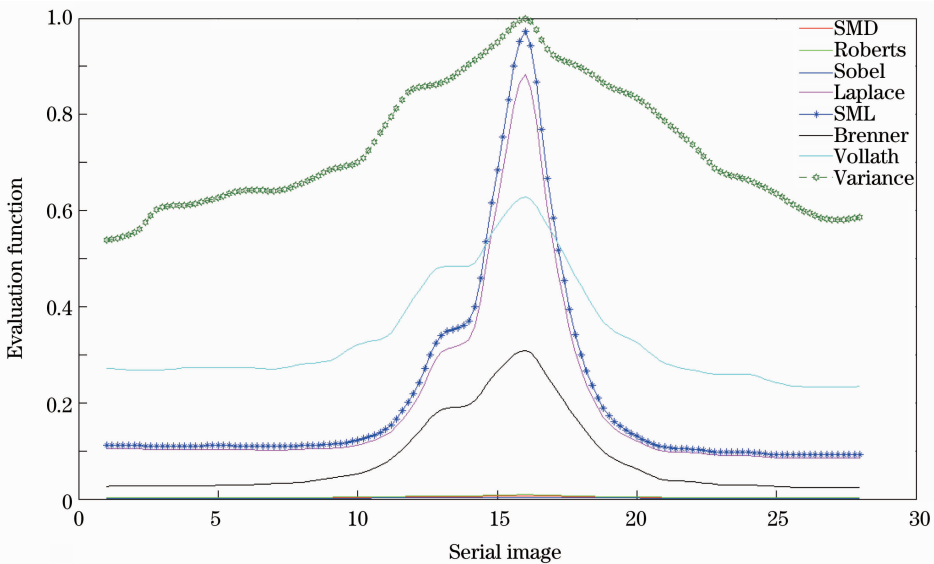


图 3 图像序列综合仿真结果

Fig. 3 Synthetical simulation results of image sequences

是单一评价函数的各自仿真曲线,图 3 是为了综合比较各个评价函数性能,把所有评价函数在一个图形中进行的仿真,同时归一化最大值,即采用这些评价函数中最大值作为归一化的基数,在此基础上进行的仿真。根据聚焦评价函数的定量评价指标,即灵敏度、陡峭区宽度、陡峭度、平缓区波动量、清晰度比率和局部极值因子,可以得出综合性能好的聚焦评价函数为 SML 聚焦评价函数和拉普拉斯聚焦评价函数,两个聚焦评价函数都是二阶聚焦评价函数,其各方面性能指标要优于其他聚焦评价函数,因此采用 SML 聚焦评价函数(同样也可以采用拉普拉斯聚焦评价函数)。

### 3 强散粒噪声图像的聚焦评价函数处理

#### 3.1 常规聚焦评价函数处理

为了验证噪声的影响,对此系列图像,加入噪声密度为 0.2 的椒盐噪声,同时对噪声图像进行了中值滤波。图 4 为灰度化的无噪声图像,图 5 为噪声图像,图 6 为中值滤波后的图像,因为图像中噪声强度比较大,所以中值滤波后,还是存在噪声。

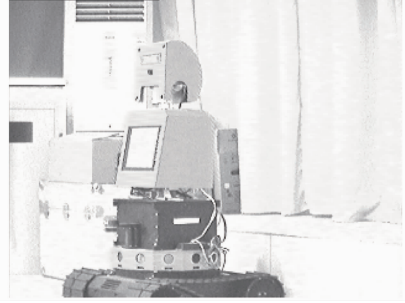


图 4 无噪声图像

Fig. 4 Image without noise

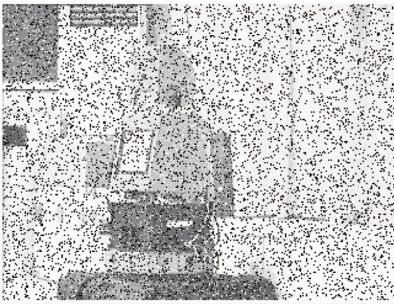


图 5 噪声图像

Fig. 5 Image with shot noise

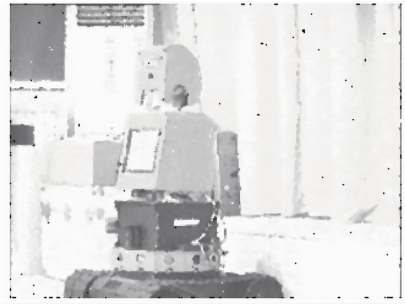


图 6 中值滤波图像

Fig. 6 Image with median filter

对中值滤波后的图像序列,采用 SML 聚焦评价函数进行仿真,仿真曲线如图 7 所示。从仿真曲线可以看出,不满足聚焦评价函数的性能指标,仿真曲线不满足单调性,至于定量的评价指标,也不能满足要求,同时从图中最大峰值得出最佳清晰图像为第 15 幅图像,与无强噪声影响图像得出的结果不一致,无强噪声影响结果为第 16 幅图像为最清晰图像(如图 8 所示),因此,需对强散粒噪声图像的评价函数进行改进,使其满足评价函数性能指标,同时使其与无噪声图像序列仿真结果相一致。

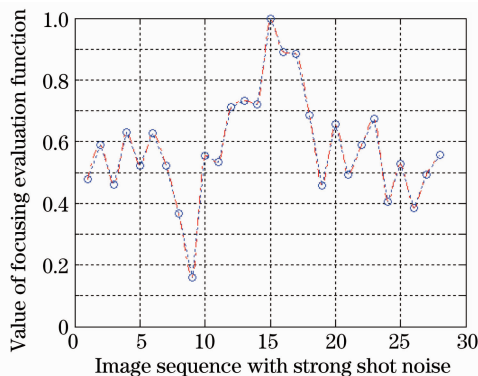


图 7 散粒噪声图像序列仿真结果

Fig. 7 Simulation result of image sequence with shot noise

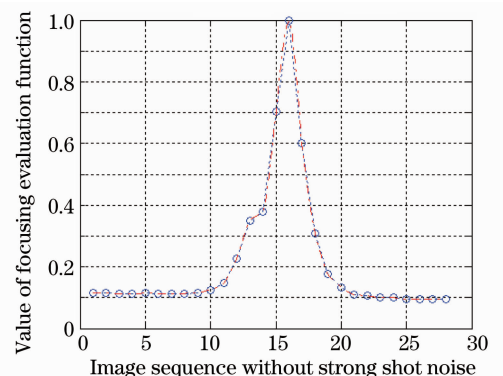


图 8 图像序列仿真结果

Fig. 8 Simulation result of image sequence

#### 3.2 改进聚焦评价函数处理

上述中值滤波后的图像,还是存在噪声,为了降低噪声的影响,采用分水岭方法对中值滤波后的图像进

行分割。分水岭方法是一种过分割技术,把含散粒噪声的图像分成若干个内部连通并且具有一定灰度相似性和较好边缘的小区域,将每个小区域内的像素灰度均值作为该区域内像素的灰度值。这种将区域块内的灰度均值作为对应区域内像素的灰度值,一方面可以在每个小区域内自适应地降低散粒噪声的影响,同时还可以加强图像的局部相关性;另一方面,对含散粒噪声的图像,区域均值更能反映图像的真实灰度值,从而能进一步抑制噪声的影响。

分水岭分割方法只是把中值滤波后的图像分割成多块小区域,如图9所示。图9是对图6进行分水岭过分割后所得的图像块,即对强散粒噪声图像中值滤波后的图像,进行分水岭过分割所得的图像块。对图9中分割出的每一块小区域,求取其区域内的灰度均值,用此灰度均值代替此小区域块内每个像素的灰度值,所得图像如图10所示,通过对图10与图6的比较,可以看出确实降低了散粒噪声的影响。利用这些区域块均值代替相应区域内像素的灰度值,对(6)式进行计算,计算SML聚焦评价函数。

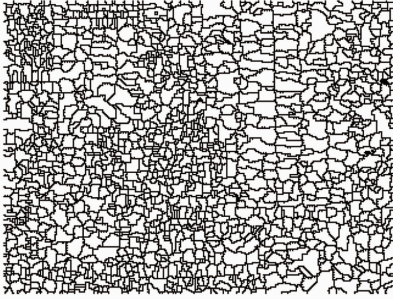


图9 分水岭过分割图像块

Fig. 9 Watershed over-segmentation block



图10 分水岭过分割图像

Fig. 10 Watershed over-segmentation image

针对强散粒噪声背景图像,计算聚焦评价函数主要步骤为:

- 1) 读取图像,对彩色图像灰度化处理;
- 2) 中值滤波去噪处理;
- 3) 使用分水岭算法对图像进行过分割;

4) 对分水岭分割后的图像,提取每个小区域的灰度均值,用相应的灰度均值替代各个小区域内像素的灰度值;

5) 在上述处理的基础上,进行SML聚焦评价函数的自动聚焦。

按照上述步骤,对图像序列进行仿真,仿真结果如图11所示。从图中可以看出,各方面性能指标明显优于图7中常规处理方法。同时,从图11中得出,最佳清晰图像为第16幅图像,与无强散粒噪声影响图像序列得出的结果是一致的,从而验证了此改进评价函数方法是有效的,精度接近于无强散粒噪声影响图像仿真结果。

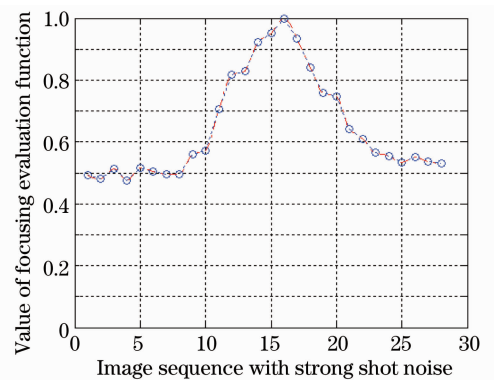


图11 分水岭过分割图像仿真结果

Fig. 11 Simulation result of watershed over-segmentation image

## 4 结 论

对常规聚焦评价函数处理过程进行了改进,在对强散粒噪声图像进行中值滤波之后,采用分水岭算法对图像进行过分割,然后对分割的每个小区域求取其灰度均值,利用此灰度均值代替此小区域块内像素的灰度值,以此来抑制强散粒噪声的影响。实验验证,此聚焦评价函数处理过程适用于强散粒噪声图像序列,其精度接近于无强噪声图像序列的精度,同时稳健性好。

## 参 考 文 献

- 1 Gao Chao, Xu Wenbo, Sun Jun. Novel adaptive de-noising method for strong Gaussian noise[J]. *Computer Engineering*

- and Applications, 2011, **47**(28): 154~157
- 高 超, 须文波, 孙 俊. 新的强高斯噪声自适应滤波方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, **47**(28): 154~157
- 2 Li Lihong, Zhang Minglu, Zhang Jianhua. Research of automatic focus system[J]. *J. Tianjin Polytechnic University*, 2011, **30**(6): 53~57
- 李丽宏, 张明路, 张建华. 自动聚焦系统研究[J]. 天津工业大学学报, 2011, **30**(6): 53~57
- 3 Zhai Yongping, Zhou Dongxiang, Liu Yunhui *et al.*. Design of evaluation index for auto-focusing function and optimal function selection[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(4): 0418002
- 翟永平, 周东翔, 刘云辉 等. 聚焦函数性能评价指标设计及最优函数选取[J]. 光学学报, 2011, **31**(4): 0418002
- 4 Zong Guanghua, Sun Minglei, Bi Shusheng. Research on autofocus technique in micro-vision[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(9): 1225~1232
- 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): 1225~1232
- 5 C. Y. Chen, R. C. Hwang, Y. J. Chen. A passive auto-focus camera control system[J]. *Applied Soft Computing*, 2010, **10**(1): 296~303
- 6 H. C. Chang, T. M. Shih, N. Z. Chen *et al.*. A microscope system based on bevel-axial method auto-focus[J]. *Opt. & Laser. Eng.*, 2009, **47**(5): 547~551
- 7 S. Y. Lee, Y. Kumar, J. M. Cho *et al.*. Low-power passive focus measure operator based on the DCT for mobile phones [J]. *Imaging Sci. J.*, 2008, **56**(6): 301~306