

文章编号: 0253-2239(2006)10-1474-5

# 一种自适应的自动聚焦算法\*

高 赞 姜 威 朱孔凤 陶俊伟 陈 爽 田 冲

(山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

**摘要:** 自动聚焦是图像测量和计算机视觉中的重要技术。研究发现,以前的一些自动聚焦算法,在没有噪声的影响下,效果较好,但一旦有噪声的影响,算法可能会失效,因此,提出了一种自适应的自动聚焦方法。首先通过一个基于局部小窗口的自适应门限将边缘像素和非边缘像素区别开来,然后再加上一个全局门限来进一步滤除噪声的影响,最后用一些自动聚焦算法来计算经过自适应处理后的图像,画出它们的聚焦曲线。经过大量的实验,结果表明,该算法不仅具有单峰性强,无偏性好,灵敏度高等特点,而且还具有很好的抗噪声性能。

**关键词:** 图像处理; 自动聚焦; 自适应; 评价函数; 局部门限; 全局门限; 噪声

中图分类号: TP211+.6; TP301 文献标识码: A

## An Auto-Adaptive Algorithm to Auto-Focusing

Gao Zan Jiang Wei Zhu Kongfeng Tao Junwei Chen Shuang Tian Chong

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

**Abstract:** Auto-focusing is an important technology in the measurement of images and computer vision. After careful experiments, it is found that some conventional auto-focusing algorithms are valid without the influence of the noise. However, they will be invalid in the influence of noise. So, an auto-adaptive algorithm to auto-focusing is proposed. At first, edge pixels are separated from non-edge pixels by an adaptive threshold in small local area. The global threshold is adapted to eliminate the influence of noise further. Finally, images are computed with some auto-focusing method carefully, which are calculated by the adaptive method. At the same time, the focusing curves are plotted. Experiments show that the method not only owns the characteristics of good unbiased, clear single apex and high sensitivity and so on, but also has strong performance of anti-noise.

**Key words:** image processing; auto-focusing; adaptive; evaluation function; local threshold; global threshold; noise

## 1 引 言

近年来,数字图像处理越来越受关注。而数字图像自动聚焦技术作为数字图像处理的一个分支,也就越来越受到人们的重视。另外,数字图像自动聚焦技术在计算机视觉中也是关键技术之一。传统的数字图像自动聚焦算法有很多,比如灰度变化函数、梯度变化函数、图像灰度熵函数以及频域类函数四大类<sup>[1~3]</sup>。这些传统的算法,基本上都是在原始或者经过一些滤波处理的图像上进行运算的,滤波虽然可以去除一部分噪声,但是这些算法对噪声还是很敏感。这些算法在没有噪声时,算法的灵敏度

和单峰性可能还不错,但是一旦受到噪声的影响,算法可能就会失效。本文利用局部小窗口中的均值作为该窗口中的分割门限,将边缘点和非边缘点区分开来,同时利用表征图像噪声的量作为整体门限,这样既可以保证针对不同区域选择不同门限分割出边缘区域,同时又有效地抑制噪声的影响,这样可以得到图像的一个轮廓,再利用一些自动聚焦算法对该轮廓进行计算。经大量实验表明,本文提出的算法不仅具有无偏性好、单峰性强、灵敏度高等特点,而且还具有很好的抗噪声性能。

\* 山东省自然科学基金(Y2005G08)资助课题。

作者简介: 高 赞(1980~),男,江西人,硕士,主要从事数字图像处理方面的研究。E-mail: gaozan114@126.com

导师简介: 姜 威(1962~),男,山东人,山东大学信息科学与工程学院教授,主要从事数字图像处理方面的研究。

E-mail: jwimage@sdu.edu.cn

收稿日期: 2005-11-24; 收到修改稿日期: 2006-04-12

## 2 具体算法理论

### 2.1 局部均值门限提取边缘

为了自适应地将图像边缘点和非边缘点区分开来,在通常的边缘提取算法中,一般使用某种全局单一或多门限作为分割的基础,但很多图像并不能很好地由某个或某几个门限分割出完整的边缘。考虑到边缘像素点是某一区域内灰度变化较大的区域,因此,本文采用局部自适应门限进行分割。以图像中某个像素点 $(x,y)$ 为中心,选取一个 $3 \times 3$ 大小的窗口 $W(x,y)$ ,求取该窗口内图像均值:

$$m = \frac{1}{9} \sum_{x=0}^2 \sum_{y=0}^2 W(x,y), \quad (1)$$

将 $m$ 作为该窗口的门限,在窗口 $W(x,y)$ 内进行分割,具体分割方法如下所示:

$$W'(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } W(x,y) \geq m \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

将窗口 $W(x,y)$ 分割后所得新窗口 $W'(x,y)$ 与如图1所示的16个方向模板进行匹配,如果有任何一个模板与新窗口 $W'(x,y)$ 匹配成功,那么就将窗口 $W(x,y)$ 所对应的中心点标记为“边缘”。(3)式是将窗口 $W'(x,y)$ 与第一个模板进行匹配的逻辑表达式:

$$A(x,y) = \neg W'(x-1,y-1) \wedge W'(x-1,y) \wedge W'(x-1,y+1) \wedge \neg W'(x,y-1) \wedge W'(x,y) \wedge W'(x,y+1) \wedge W'(x+1,y-1) \wedge W'(x+1,y) \wedge W'(x+1,y+1), \quad (3)$$

其中前面的“ $\neg$ ”表示逻辑非,“ $\wedge$ ”表示逻辑与。其他模板以此类推。

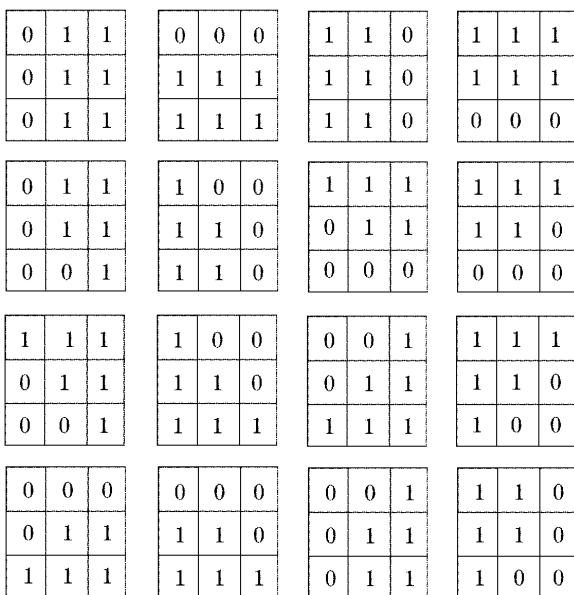


图1 方向模板

Fig. 1 Template of the direction

### 2.2 整体标准差门限滤除噪声

由于只选了 $3 \times 3$ 窗口,窗口较小,对噪声敏感,所以求得的边缘可能包含较多的噪声点,为了将这些噪声点去除,重新选取一个表征图像整体噪声分布水平的门限 $T_N$ ,对于这个门限有一定的要求:1)这个门限不能太大,否则会将实际的边缘也去除;2)这个门限也不能太小,否则不能很好地把噪声滤除。经过大量实验发现,表征图像整体噪声的标准差能较好地满足以上条件,把它作为该门限值可以较好地滤除噪声。具体 $T_N$ 如下所示:

$$T_N = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [F(x,y) - \mu_{\text{mean}}]^2}, \quad (4)$$

其中 $M,N$ 分别为图像 $F(x,y)$ 的行数和列数, $\mu_{\text{mean}}$ 为图像 $F(x,y)$ 的均值。

求出 $T_N$ 之后,再求出 $3 \times 3$ 窗口 $W(x,y)$ 的方差 $\sigma^2(x,y)$ ,具体公式如下:

$$\sigma^2(x,y) = \frac{1}{9} \sum_{x=0}^2 \sum_{y=0}^2 [W(x,y) - m]^2, \quad (5)$$

按照(4)式、(5)式求出 $F(x,y)$ 图像的整体标准差 $T_N$ ,以及各个 $3 \times 3$ 窗口 $W(x,y)$ 的方差 $\sigma^2(x,y)$ ,再将两者得出的结果进行比较,只有当 $\sigma^2(x,y)$ 大于 $T_N$ 时, $A(x,y)$ 才能记为“边缘”,具体的公式如下所示:

$$A(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } \sigma^2(x,y) > T_N \\ 0. & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

### 2.3 自动聚焦算法

经过上述处理后,得到了图像 $F(x,y)$ 的近似轮廓 $A(x,y)$ ,现在的任务就是对 $A(x,y)$ 进行处理。那么具体用哪些评价函数来处理这个 $A(x,y)$ 呢?经过大量的仿真实验,发现 $V_1, V_2, V_3^{[4]}, V_4$ 这几种梯度评价函数具有单峰性好,陡峭度高等特点,而且还具有很好的抗噪声性能。具体的公式如下:

$$G_1 = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [ |A(x,y) - A(x,y-1)| + |A(x,y) - A(x,y+1)| ]^2, \quad (7)$$

$$V_1 = \text{Max}(G_1), \quad (8)$$

$$G_2 = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \{ [A(x,y) - A(x,y-1)]^2 + [A(x,y) - A(x,y+1)]^2 \}, \quad (9)$$

$$V_2 = \text{Max}(G_2), \quad (10)$$

$$G_3 = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [ |A(x,y) - A(x+1,y+1)| + |A(x,y+1) - A(x+1,y)| ]^2, \quad (11)$$

$$V_3 = \text{Max}(G_3), \quad (12)$$

$$G_4 = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \{ [A(x,y) - A(x+1,y+1)]^2 + [A(x,y+1) - A(x+1,y)]^2 \}, \quad (13)$$

$$V_4 = \text{Max}(G_4), \quad (14)$$

其中  $M, N$  为  $A(x,y)$  的行数和列数。

### 3 实验结果及分析

#### 3.1 实验比较

为了验证以上算法的有效性,做了大量的实验。对几种不同类型的一系列图像(如图 2 所示)进行仿真实验,这些图像是在不同焦距下的图像,它们从离焦时图像到聚焦时的图像,再到离焦时的图像[其中图 2(a)、图 2(b)的对比度较大,而图 2(c)、图 2(d)的对比度较小]。在具体比较之前,对以下所有图中有的聚焦曲线作如下说明。为了比较方便,对所有的聚焦曲线都做了归一化处理,横坐标表示图像的序列,纵坐标表示归一化的  $V$ 。另外为了在图形中表示方便,做了如下规定:1) 当  $V_1, V_2, V_3, V_4$  作用于经过自适应处理后的图像  $A(x,y)$  时,则用  $V'_1, V'_2, V'_3, V'_4$  表示。2) 当  $V_1, V_2, V_3, V_4$  作用于未经自适应处理的图像  $F(x,y)$  时,则用  $V''_1, V''_2, V''_3, V''_4$  表示。3) 灰度差的绝对值的和<sup>[5~7]</sup>、图像灰度梯度向

量模方和<sup>[7]</sup>、Robert 梯度和、灰度方差<sup>[7~9]</sup> 作用于未经自适应处理的图像则分别表示为 I、II、III、IV。

首先比较  $V_1, V_2, V_3, V_4$  算法直接作用于原始图像  $F(x,y)$  和作用于经过自适应处理后的图像  $A(x,y)$  的有效性,其自动聚焦曲线如图 3 所示。其中图 3(a)是  $V_1, V_2, V_3, V_4$  分别作用于图 2 中(a)、图 2(b)原始图像  $F(x,y)$  和自适应处理后的图像  $A(x,y)$  的自动聚焦的聚焦曲线图。由图 3(a)的聚焦曲线可以看出,虽然两者都能够准确判断出聚焦图像,但是  $V_1, V_2, V_3, V_4$  作用于自适应处理后的图像  $A(x,y)$  的聚焦曲线比其作用于原始图像  $F(x,y)$  具有更好的单峰性,且聚焦曲线更加陡峭,灵敏度更高。而图 3(b)是  $V_1, V_2, V_3, V_4$  作用于图 2(a)、图 2(b)经自适应处理后的图像  $A(x,y)$  的聚焦曲线,与灰度差的绝对值的和、图像灰度梯度向量模方和、Robert 梯度和以及灰度方差作用于图 2 中(a)、图 2(b)原始图像  $F(x,y)$  的聚焦曲线的比较图。从图 3(b)的聚焦曲线可以看出,虽然两者也都能够判断出聚焦图像,但较之后者,前者的聚焦曲线的单峰性强,灵敏度高,陡峭程度也好。

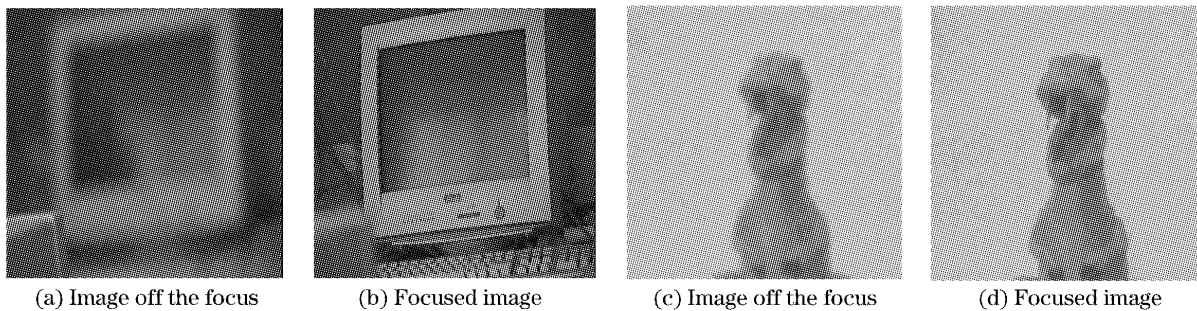


图 2 实验图像

Fig. 2 Experimental images

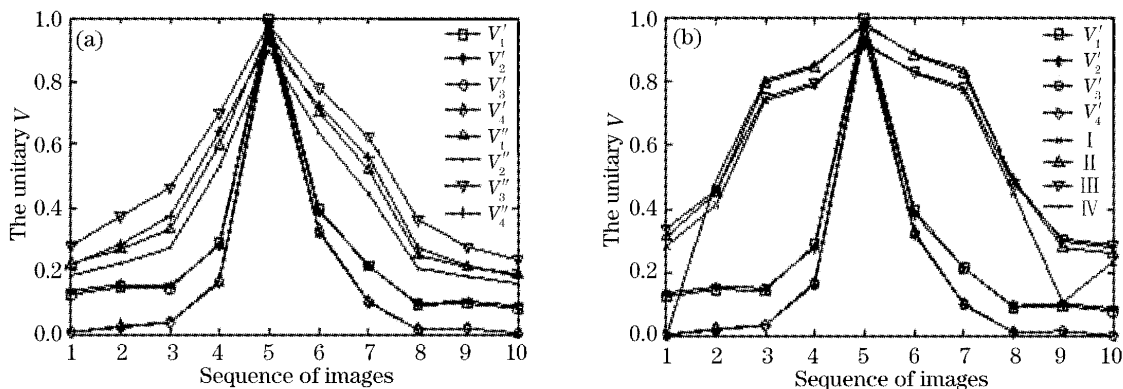


图 3 用图 2(a)、图 2(b)得出的聚焦曲线

Fig. 3 Focused curves by using (a) and (b) in the Fig. 2

为了进一步验证算法的有效性,将以上算法作用于图 2(c)、图 2(d)图像上,聚焦曲线如图 4 所示。其中图 4(a)是  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  分别作用于图 2(c)、图 2(d)原始图像和自适应处理后的图像的自动聚焦的聚焦曲线图。从图 4(a)可看出,后者的聚焦曲线的单峰性、灵敏度和陡峭程度较前者都有很大的提高。图 4(b)是  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  作用于图 2(c)、图 2(d)经自适应处理后的图像  $A(x,y)$  的聚焦曲线,与灰度差的

绝对值的和、图像灰度梯度向量模方和、Robert 梯度和以及灰度方差作用于图 2(c)、图 2(d)原始图像  $F(x,y)$  的聚焦曲线的比较图。从图 4(b)可明显地看出,灰度差的绝对值的和、图像灰度梯度向量模方和、Robert 梯度和以及灰度方差的聚焦曲线几乎成为一条直线,不能够判断出聚焦图像。而  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  的聚焦曲线的各方面性能都很好。

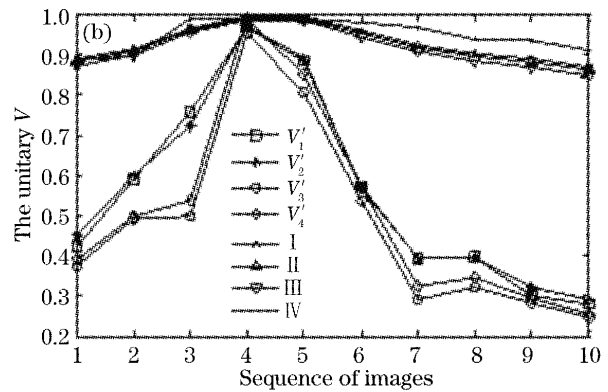
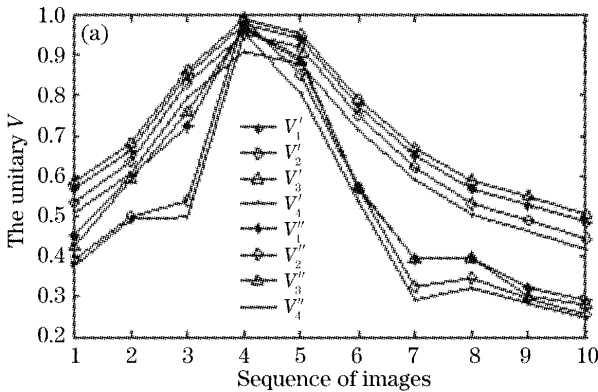


图 4 用图 2(c)、图 2(d)得出的聚焦曲线

Fig. 4 Focused curves by using (c) and (d) in the Fig. 2

### 3.2 抗噪声性能

由 CCD 摄像头得到的图像包含有多种噪声误差,主要是高斯噪声<sup>[10~12]</sup>。现在仍然以显示器图像为例,在每个序列图像中都加入高斯噪声。这里只给出其中的清晰图像和加入了均值为 0,方差为 0.05 的高斯噪声后的图像。如图 5 所示,而最后的聚焦曲线如图 6 所示。

能。而  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  运用本文的方法,作用于噪声图像,虽然陡峭程度有所下降,但是其单峰性还是非常明显,灵敏度也较高。由此可以看出本文算法的抗噪声性能很强。

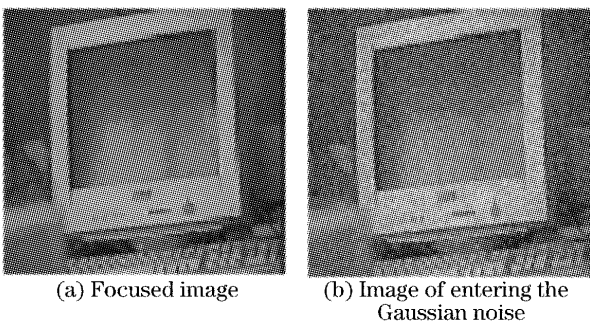


图 5 噪声分析图像

Fig. 5 Image for the analysis of noise

图 6 中横坐标表示图像序列,纵坐标表示归一化的  $V$ 。从图 3 可以看出,在没有加噪声之前, $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、灰度差的绝对值的和、图像灰度梯度向量模方和、Robert 梯度和以及灰度方差作用于图 2(a)、图 2(b)原始图像  $F(x,y)$ ,都能够较好地判断出聚焦图像,而且聚焦曲线的陡峭程度也较好,但是当它们作用于加入噪声后的图像时,聚焦曲线几乎都成了一条直线,在噪声的影响下失去了聚焦的功

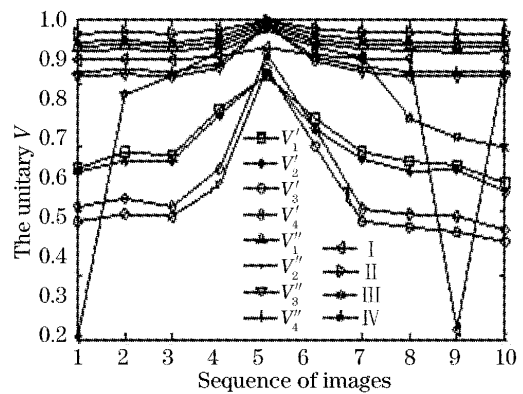


图 6 加入噪声后的聚焦曲线

Fig. 6 Focused curve of entering the noise

## 4 结 论

先通过一个基于局部小窗口的自适应的门限找到图像大概的轮廓,然后再加上一个全局门限来进一步滤除噪声的影响,最后用一些自动聚焦算法来计算已经得到近似边缘的图像。这样做好处在于,通过先提取边缘的方式,尽量地消除了背景图像的影响,提高了算法的陡峭程度,另外通过两个门限以及文中的算法,可以很好地提高聚焦评价函数的抗噪声性能。

由以上实验,已经充分地证明了以上几点。

### 参 考 文 献

- 1 Kang Zongming, Zhang Li, Xie Pan. Implementation of an automatic focusing algorithm based on spatial high frequency energy and entropy[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2003, **31**(4): 552~555 (in Chinese)  
康宗明,张利,谢攀. 一种基于能量和熵的自动聚焦算法[J]. *电子学报*, 2003, **31**(4): 552~555
- 2 Zhu Zhengtao, Li Shaofa, Chen Huaping. Research on auto-focused function based on the image entropy[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, **12**(5): 537~542 (in Chinese)  
朱铮涛,黎绍发,陈华平. 基于图像熵的自动聚焦函数研究[J]. *光学精密工程*, 2004, **12**(5): 537~542
- 3 Zhu Kongfeng, Jiang Wei, Wang Duanfang *et al.*. A new kind of clarity-evaluation-function of image [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, **34**(4): 464 (in Chinese)  
朱孔凤,姜威,王端芳等. 一种新的图像清晰度评价函数[J]. *红外与激光工程*, 2005, **34**(4): 464
- 4 Zhou Ninan, Wang Min, Huang Xinhan *et al.*. Pre-treatment algorithm of auto plate characters' recognition [J]. *The Engineering and Application of Computer*, 2003, **15**(1): 220~221 (in Chinese)  
周妮娜,王敏,黄心汉等. 车牌字符识别的预处理算法[J]. *计算机工程与应用*, 2003, **15**(1): 220~221
- 5 Wu Zhenfeng, Zuo Hongfu, Qiu Genliang. Auto-focusing technique of optical microscope[J]. *Optical Instruments*, 2000, **22**(4): 10~12 (in Chinese)  
吴振锋,左洪福,邱根良. 光学显微镜自动聚焦的技术研究[J]. *光学仪器*, 2000, **22**(4): 10~12
- 6 Sun Minglei, Zong Guanghua, Yu Zhiwei *et al.*. Automatic focusing system of micro-vision based on image analysis[J]. *J. Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2005, **31**(2):194 (in Chinese)  
孙明磊,宗光华,余志伟等. 基于图像分析的显微视觉自动聚焦系统[J]. *北京航空航天大学学报*, 2005, **31**(2): 194
- 7 Gao Zan, Jiang Wei, Zhu Kongfeng *et al.*. Auto-focusing algorithm based on Roberts gradient[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, **35**(1): 118 (in Chinese)  
高赞,姜威,朱孔凤等. 基于 Roberts 梯度的自动聚焦算法[J]. *红外与激光工程*, 2006, **35**(1): 118
- 8 Cao Maoyong, Sun Nongliang, Yu Daoyin. Digital image evaluation function based on gray gradient[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, **30**(4): 70~71 (in Chinese)  
曹茂永,孙农亮,郁道银. 基于灰度梯度的数字图像评价函数[J]. *光电工程*, 2003, **30**(4): 70~71
- 9 Zhu Shiping, Fang Jiancheng, Zhou Rui. New kind of energy spectrum entropy image focusing evaluation function [J]. *J. Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 1999, **25**(6): 720~721 (in Chinese)  
祝世平,房建成,周锐等. 一种新的能量谱-熵图像聚焦评价函数[J]. *北京航空航天大学学报*, 1999, **25**(6): 720~721
- 10 Xiang Zhen. Elimination of image noise with CCD device characteristics[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2001, **28**(6): 66~67 (in Chinese)  
项震. 基于 CCD 器件特征的图像噪声消除[J]. *光电工程*, 2001, **28**(6): 66~67
- 11 Xu Xiuzhen, Li Zitian, Xue Lijun. Analysis and processing of CCD noise[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, **33**(4): 344 (in Chinese)  
许秀贞,李自田,薛利军. CCD 噪声分析及处理技[J]. *红外与激光工程*, 2004, **33**(4): 344
- 12 Zhu Kongfeng, Jiang Wei, Gao Zan *et al.*. Focusing window choice and parameters determination in automatic focusing system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(6): 836~840 (in Chinese)  
朱孔凤,姜威,高赞等. 自动聚焦系统中聚焦窗口的选择及参量的确定[J]. *光学学报*, 2006, **26**(6): 836~840

## 《中国学术期刊文摘》中文版和英文版 2007 年征订启事

《中国学术期刊文摘》分中文版(简称 CSAC)和英文版(简称 CSAE)两种,各自收录了我国高水平学术期刊中基础科学、医学、农业科学和工程技术领域约 40 个学科的论文文摘,全景展现我国的科研成果与进展。

作为综合性科技类检索刊物,《中国学术期刊文摘》致力于将我国科学技术各领域的原创性学术成果全面、快速地向科技工作者交流、传播,其中 CSAE 是我国第一份综合性英文版科技类学术检索刊物。

《中国学术期刊文摘》由中国科学技术协会主管,科技导报社主办并负责编辑、出版、发行,对科研单位、高等院校、图书馆以及广大科技工作者检索和了解我国的科技研究成果、学术研究动向具有重要的参考价值。

《中国学术期刊文摘(中文版)》刊号为 CN 11-3501/N,ISSN 1005-8923,2007 年为半月刊,大 16 开,国内定价 38.00 元/册,全年定价 912 元,邮发代号:82-707。

《中国学术期刊文摘(英文版)》刊号为 CN 11-5411/N,ISSN 1673-4084,2007 年改为月刊,大 16 开,国内定价 15.00 元/册,全年定价 180 元,邮发代号:80-487。

欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆订阅。

通讯地址:北京市海淀区学院南路 86 号科技导报社(邮编 100081)

联系电话:010-62103122 联系人:姚玉琴

征订信箱:wzjb@cast.org.cn 单位主页: <http://www.csac.org.cn>

户名:科技导报社 账号:0200001409089017271

开户银行:工商银行百万庄支行