

# 一种基于灰度分割的自动调焦算法\*

姚 珺, 张俊举, 常本康

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

**摘要:** 针对红外图像的自动调焦问题, 提出了基于灰度分割的图像清晰度评价函数, 对比传统的图像清晰度评价算法, 新算法满足无偏性和单峰性, 并且具有更高的灵敏度和较快的计算速度。

**关键词:** 自动调焦; 灰度分割; 图像清晰度评价函数

**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2012)08-3148-03

**doi:**10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.091

## Automatic focusing method based on gray segmentation

YAO Jun, ZHANG Jun-ju, CHANG Ben-kang

(Institute of Electronic Engineering & Optic-electronic Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** This paper proposed a new automatic focusing method based on gray segmentation. Compared with other traditional image definition function, the proposed function had a better performance on sensitivity. Then it adopted the suitable searching algorithm, to make the whole process of automatic focus more accurate and have less interference.

**Key words:** automatic focusing; gray segmentation; image definition function

## 0 引言

传统的调焦方法是通过传感器检测焦点或测量距离的方式来实现的, 本文提出的自动调焦算法则是通过数字图像处理, 分析其清晰度, 获得当前的成像状态, 然后完成自动调焦操作。自动调焦是一个比较广泛的领域, 经过几十年的发展, 已经出现了很多调焦方法。相对于手动调焦, 自动调焦具有高精度、高效率、实时性强等特点, 但结构比较复杂、成本比较高。基于图像处理的自动调焦方法主要是通过评价成像系统的图像质量来判断像接收平面是否在理想的成像位置上。这种方法不仅能提高对焦精度, 而且能降低对成像系统的加工和装配精度的要求, 因此已经成为目前自动调焦技术的重要研究方向之一。

当光学系统确定以后, 自动调焦过程是对光学系统成像清晰度的一个优化过程。人们一直在寻找适合于自动调焦过程的图像清晰度定义, 许多人为此做了大量的研究工作。归结起来, 自动调焦评价函数可分为灰度梯度函数<sup>[1-4]</sup>, 如 Tenengrad 函数、Variance 函数、Brenner 函数、相邻像素灰度方差 (sum modulus difference, SMD) 函数、Laplacian 函数等; 频域函数<sup>[5]</sup>, 如全频段积分函数、阈值积分函数、高频分量函数等; 信息学函数, 如熵函数; 统计学函数, 如 Range 函数、Menmay 函数、Masgrn 函数、直流功率函数、交流功率函数等。一个理想的调焦评价函数, 应该具有无偏差、单调、单峰, 且算法的数学模型构建简单、计算量小。

灰度梯度类调焦函数的值用图像相邻像素间的灰度差(差分)来计算, 微分运算的作用可以消除背景噪声的影响, 能有效抑制外界条件(如背景噪声、光源波动等)对图像的整体

影响, 能大致达到调焦函数所具有的特征, 因此灰度类函数应用最广、适应性最强。

## 1 基于灰度分割的清晰度评价函数

### 1.1 灰度分割理论基础

图像工程可以分为图像处理、图像分析和图像理解三个层次<sup>[6,7]</sup>。图像处理属于较底层的操作, 主要作用为对图像进行变换从而使图像有更佳的视觉效果, 主要操作手法是在图像的像素级上进行处理。图像分析是图像工程的中间层操作, 主要是针对图像中观察者所感兴趣的目标进行检测, 从而获得它们的具体信息。图像理解是图像工程的高层部分, 是在前两层的基础上进一步研究各个目标的性质和相互联系。而图像分割技术是连接底层和中间层的关键步骤, 同样也是高层操作的基础, 所以在整个图像工程中有着重要的地位。

图像分割的目的是从图像中将目标对象分离出来<sup>[8]</sup>, 而清晰图像与模糊图像相比则有更多的边缘和细节信息, 所以清晰图像可以从背景中分离出更加明显的边缘细节。这些边缘和细节可以理解为对图像进行横向或纵向扫描时<sup>[9]</sup>, 图像中灰度出现大幅度变化的地方, 所以可以通过找出图像中灰度大幅度变化的次数来构造评价图像清晰度的函数<sup>[10]</sup>。图1为两幅清晰程度不同的图像经过二值化和边缘提取后的结果, 可以看出, 清晰图像所包含的灰度跳变区域多于模糊图像。图1中白色点和线的部分即代表经边缘提取后的边缘和细节部分, 可以看出(c)中的白色边缘和细节部分明显多于(d), 特别是在目标物体(窗户)附近这种现象更为明显。所以采用这种灰度分割的方法可以有效地分离出图像的边缘细节信息, 即可以由此构造图像的清晰度评价函数。

**收稿日期:** 2011-12-15; **修回日期:** 2012-02-01      **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61101195); 江苏省研究生创新基金资助项目(CX09B-097Z)

**作者简介:** 姚珺(1987-), 女, 江苏扬州人, 硕士, 主要研究方向为红外系统自动调焦(maxineyj@163.com)。

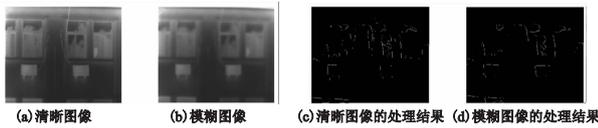


图1 清晰度不同的图像处理后的结果

### 1.2 新算法的实现步骤

根据以上论述,新算法主要分为灰度图像二值化(针对红外图像)、图像边缘检测和清晰度评价计算三个部分。下面分别介绍各部分的实现方法。

a) 计算所有像素的灰度平均值:

$$avg = (1/MN) \times \sum_M \sum_N f(i, j)$$

b) 利用该平均值对图像进行二值化:

$$p(i, j) = \begin{cases} 0 & f(i, j) < avg \\ 255 & f(i, j) \geq avg \end{cases} \quad i, j \in R$$

c) 边缘检测,对图像进行双向一次微分,同时增强水平和垂直方向的边缘:

$$U = \{p(i, j+1) - p(i, j)\}^2$$

$$V = \{p(i+1, j) - p(i, j)\}^2$$

$$q(i, j) = \sqrt{U+V}$$

d) 扫描经过边缘检测的图像,进行累加运算,计算出清晰度评价函数  $f(n)$ :

$$f(n) = \begin{cases} f(n) & p(i, j) = 0 \\ f(n) + a & p(i, j) = 255 \\ f(n) + b & p(i, j) = 255 \times \sqrt{2} \end{cases} \quad i, j \in R$$

其中:  $f(i, j)$  为原图像  $(i, j)$  点的灰度值;  $M, N$  分别代表图像的长和宽;  $p(i, j)$  为图像经过二值化后  $(i, j)$  点的灰度值;  $q(i, j)$  为图像经过双向一次微分后  $(i, j)$  点的灰度值。

通常  $a, b$  的取值在  $[0, 30]$  之间,通过调整  $a, b$  的取值,可以使图像清晰度评价函数更加灵敏,更好地评价不同程度的离焦图片。比较每幅图像的函数值  $f(n)$  采用适当的调焦搜索算法,找出  $f(n)$  最大的图像,即为最清晰图像。

### 1.3 新算法性能分析

在理论上完成了新算法的实现方法后,需要通过仿真实验来对新算法的性能进行分析。具体方法是采用红外热像仪进行手动调焦,严格遵循调焦方向不变的原则,截取一组红外图像,如图 2 所示的图像序列 A,为从离焦到对焦准确再到离焦这个过程的一组图像。利用 MATLAB 软件计算每一幅图像的评价值  $F_i$ ,将这 13 个评价值绘制成清晰度函数的评价值曲线,为了使其更直观、清晰,将结果进行归一化处理,如图 3 所示。

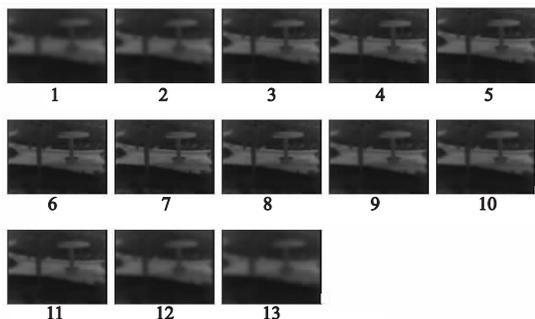


图2 图像序列A

下面根据调焦评价函数的几个性质对新算法进行性能分析:

a) 单峰性。从图 3 中可以明显看出,评价函数只有一个最大值,并且在最大值的两侧函数呈单调变化,所以新函数满足

单峰性。

b) 无偏性。评价函数曲线的最大值在第 7 幅图像处取得,这与人肉眼所见是相吻合的,即在图像序列 A 中肉眼观察最清晰的图像也为第 7 幅图像。a) b) 两点可以说明新函数满足调焦评价函数的正确性要求。

c) 灵敏性。新算法具有灵敏度可调的性质,图 4 为  $a, b$  取不同值时新算法的调焦评价函数曲线,可以看出,根据  $a, b$  取值的变化可以调整曲线的斜率即函数的灵敏度,这样的特点可以使得该评价函数更好地适应不同的系统和场景变化,也进一步增加了算法的通用性。

d) 实时性。新算法的计算过程可以通过编程进行简化,将边缘检测和评价值累加这两个步骤合并,具体实现方法在 2.2.1 节中介绍,简化后的新算法计算时间最短,与其他算法相比具有较好的实时性。

e) 通用性。由于灵敏度可调所以新算法具有较好的通用性,在 2.1 节中会针对不同的场景进行实验,以此验证其通用性。

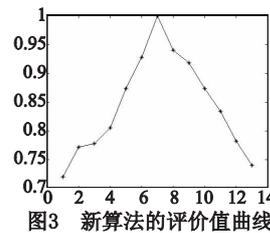


图3 新算法的评价值曲线

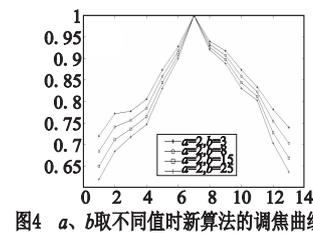


图4 a、b取不同值时新算法的调焦曲线

## 2 仿真实验

### 2.1 各种算法正确性和灵敏度的比较与分析

之前的内容从理论上对各种算法进行了介绍和分析,本节主要目的是通过软件仿真的方法评价各种算法的性能,选取适合红外热像仪调焦的清晰度评价函数。本节选取 SMD 函数(相邻像素灰度差分函数)、熵函数、4 邻域拉普拉斯函数、Variance 函数(灰度方差函数)和本文提出的新算法(新算法中取  $a=2, b=25$ )进行仿真实验;分别从算法的正确性、灵敏度和时间性能(实时性)这三个方面来对这五种算法进行分析比较。

本次实验中选取图像所采用的方法是:在尽量避免外景干扰的情况下,依照摄像头调焦时从一个方向到另一个方向的顺序,尽可能使采集图像时每次移动的距离相等。为了使得评价函数曲线有较好的对称性,实验所用的图像序列保证最中间的一幅图像为人眼所观察到的最清晰的图像,在图像序列 A 中为第 7 幅图像,图像序列 B 中为第 8 幅图像,而最清晰图像两侧的图像则依次模糊。根据不同的环境和目标物体一共进行了 10 次实验,本文选取了最有代表性的两组进行分析比较。

#### 2.1.1 仿真实验 1

本实验中使用的图像是采用红外热像仪大视场(150 DFOV)拍摄的一组花坛的图像(如图 2 所示的图像序列 A),图像序列描述了从离焦到合焦再到离焦这样一个过程。利用 MATLAB 软件将五种评价函数编写成独立的函数,对计算结果进行归一化处理得到如图 5 所示的函数评价值曲线。下面从算法的正确性和灵敏度两个方面对这几种函数进行分析比较:

a) 正确性。本组实验中,除了方差函数在第 5 幅图像处出

现了局部峰值,其他四种评价函数都具有良好的单峰性,并且这五种评价函数的最大值都出现在第 7 幅图像处,即评价出第 7 幅图像为最清晰图像,这与肉眼所看到的事实是相互吻合的。

b) 灵敏度。由图 5 可以看出,这五种评价函数的灵敏度从低到高依次为:熵函数、方差函数、SMD 函数、新算法和 4 邻域拉普拉斯算法,其中新算法和 4 邻域拉普拉斯算法不相上下。本组实验中熵函数灵敏度较差,方差函数有容易陷入局部峰值的缺点,相比较而言 SMD 函数、新算法和 4 邻域拉普拉斯算法具有较好的灵敏度。

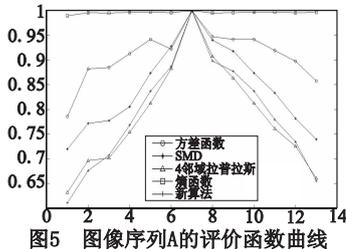


图5 图像序列A的评价函数曲线

2.1.2 仿真实验 2

本实验中使用的图像是采用红外热像仪小视场(60 DFOV)拍摄的一组建筑物的图像(如图 6 所示的图像序列 B)。与图像序列 A 类似,其描述了离焦到合焦再到离焦的过程,使用 MATLAB 软件进行算法仿真计算所得到的曲线如图 7 所示。

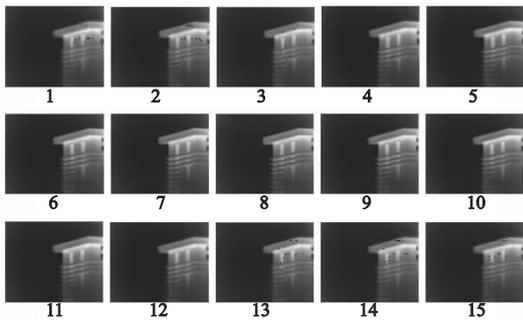


图6 图像序列B

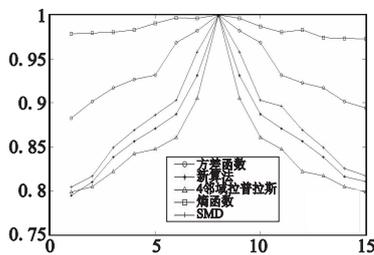


图7 图像序列B的评价函数曲线

从图 7 中可以看出,这五种评价函数满足了调焦函数的正确性要求,而熵函数和方差函数的灵敏度较差,SMD 函数、新函数和 4 邻域拉普拉斯函数的灵敏度较好。可见针对不同的场景,这三种函数都可以稳定地表现出良好的灵敏度,同时也说明了这三种评价函数能适应不同的场景,有较好的通用性。

2.2 各种算法的时间性能仿真与分析

2.2.1 新算法计算步骤简化方法

由 1.2 节可知,新算法分为灰度图像二值化、图像边缘检测和图像清晰度评价值的累加计算三个步骤。为了简化计算过程,本文将后两个步骤合并,具体操作方法如下。

首先,经二值化后的灰度图像所有像素点只有 0 和 255 两个值,根据图像边缘检测和图像清晰度评价计算的原理可知:

图像检测的目的是找出灰度值跳变最大的像素点;图像清晰度评价值的计算则是将这些像素点以某种方式进行累加。所以,每个像素点的检测和计算只需考虑与其相邻的两个像素点,以像素点(x,y)的模板为例,如图 8 所示,(b)(c)分别代表(x,y)点取值为 0 和 255 的所有取值情况,图中每个小方格代表一个像素点。

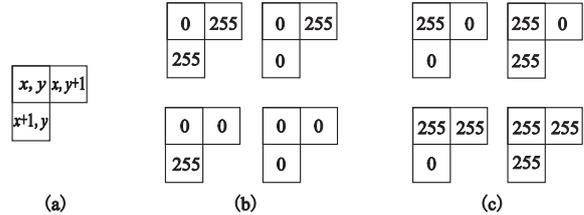


图8 像素点的取值模板

图像边缘检测的具体计算方法为:令(x,y)点的灰度值为 $f(x,y)$ ;首先分别求得(x,y)点相邻两个像素点与其差值的平方, $H_i = |f_i(x,y+1) - f_i(x,y)|^2$ , $V_i = |f_i(x+1,y) - f_i(x,y)|^2$ ;再将两个平方值相加后开方,记为 $f_i(x,y) = \sqrt{H_i + V_i}$ ;用 $f_i(x,y)$ 的值代替原来的 $f(x,y)$ 值。由图像边缘检测的计算方法可知,根据以上八个模板计算所得的 $f_i(x,y)$ 值只有三种情况:0、255 和  $255 \times \sqrt{2}$ ,根据这三种取值可以将这八个模板划分为如图 9 所示的 A、B、C 三个部分。

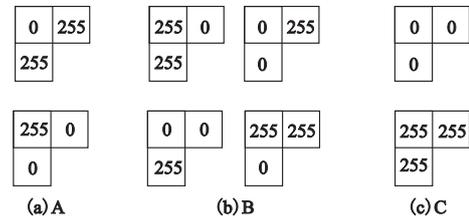


图9 八个模板划分方式

图像清晰度评价值的累加计算是根据 $f_i(x,y)$ 这三种取值的情况,采用不同的数值进行累加。这里以 $a=2, b=20$ 为例:当 $f_i(x,y)$ 的值为 0 时,图像清晰度评价值 $F_i = F_l$ ,即不进行累加;当 $f_i(x,y)$ 的值为 255 时, $F_i = F_l + 2$ ;当 $f_i(x,y)$ 的值为  $255 \times \sqrt{2}$  时, $F_i = F_l + 20$ 。综上所述,可以不必将图像边缘检测步骤的 $f_i(x,y)$ 值计算出来,而直接将这八个模板分为三种情况,直接进行图像清晰度评价值的累加运算。

新算法经简化后的具体实现步骤为:首先计算图像灰度值均值并根据该均值对图像进行二值化。然后,对二值化后的像素点进行分类并且计算清晰度评价值:若属于图 9 中的 A 部分,则 $F_i = F_l + b$ ;若属于 B 部分,则 $F_i = F_l + a$ ;若属于 C 部分,则 $F_i$ 值保持不变。可以看出,经过合并步骤后,新算法的计算量大大减少,去除了原先对所有像素点求灰度差值平方和开方的运算,只需进行分类判断,很大程度地提高了算法的实时性。

2.2.2 各种算法仿真实验结果分析

算法的时间性能又可以理解为算法的实时性。自动聚焦算法对实时性要求很高,所以无法采用计算量过大的算法,这要求算法在满足聚焦要求的情况下,尽可能简单并且占用较少的内存资源。由于本文提出的新算法将应用于红外热像仪系统中,该系统使用 VC++ 完成具体算法的实现,所以使用 Microsoft Visual C++ 软件将这几种算法编写成独立的函数,使用 C/C++ 计时函数 clock 得到每种函数计算一幅红外图像所需要的时间,以此评估新算法的实时性,所得结果如表 1 所示。

类器如图 5 所示,每个聚类中心对应一种行为。

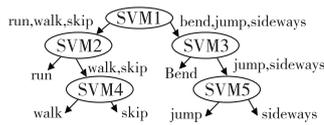


图5 支持向量机多类分类器

采用径向基核函数作为支持向量机的核函数。径向基核函数定义如下:

$$K(x_i, x_j) = \exp \left\{ -\frac{|x_i - x_j|^2}{\sigma^2} \right\} \quad (18)$$

为了验证特征融合后对识别率的提升,表 1 给出了三种特征下等错误率(REE)。惩罚参数为  $C = 10$ ,  $\varepsilon = 0.001$ ,核函数参数  $\sigma = 0.2$ 。通过比较可知,本文的融合方法比单一特征方法在识别性能上有了提高,等错误率降低到 0.32%。

表 1 等错误率比较

	区域特征	轮廓特征	融合特征
REE/%	2.4	1.4	0.32

图 6 给出了六种行为的识别结果,总体来说本方法对于简单的日常行为具有较高的识别率,表中对弯腰的识别率最高,而对走、跑和单腿跳识别率较低。这主要是因为本文所用识别方法是以动作序列的人体形状特征为基础的,如果两种行为中人体姿势形状相似,就容易引起错误识别。

walk	0.86	0.12				0.04
run	0.10	0.87				0.03
jump			0.94			0.06
bend				1.00		
sideways	0.07	0.02			0.91	
skip	0.05	0.07				0.88
	walk	run	jump	bend	sideways	skip

图6 六种行为的识别结果混合矩阵

### 4 结束语

本文提出了一种基于特征融合的人体行为识别方法。首先利用背景差分法和阴影消除技术分别提取轮廓特征和人体区域特征,将这两种具有一定互补性的特征采用 K-L 变换进行融合,从而得到一个分类能力更强的特征。最后,在传统支持向量机的基础上,结合模糊聚类技术和决策树构建多级二叉

树分类器,从而实现行为多类分类。实验结果表明,本文提出的识别方法具有较高的识别性能。未来的工作方向为选择更为优越的融合策略。

### 参考文献:

- [1] RONALD P. A survey on vision-based human action recognition[J]. *Image and Vision Computing*, 2010, 28(6):976-990.
- [2] 黄天羽,石崇德,李凤霞,等.一种基于判别随机场模型的联机行为识别方法[J]. *计算机学报*, 2009, 32(2):275-281.
- [3] 黎洪松,李达.人体运动分析研究的若干新进展[J]. *模式识别与人工智能*, 2009, 22(1):70-78.
- [4] 韩磊,李君峰,贾云得.基于时空单词的两人交互行为识别方法[J]. *计算机学报*, 2010, 33(4):1-11.
- [5] 徐光祐,曹媛媛.动作识别与行为理解综述[J]. *中国图象图形学报*, 2009, 14(2):189-195.
- [6] BASHIR F I, KHOKHAR A A, SCHONFELD D. Object trajectory based activity classification and recognition using hidden Markov models [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2007, 16(7):1912-1919.
- [7] SMINCHISESCU C, KANSUJIA A, METAXAS D. Conditional models for contextual human motion recognition[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2006, 104(2-3):210-220.
- [8] QIAN Hui-min, MAO Yao-bin, XIANG Wen-bo, et al. Recognition of human activities using SVM multi-class classifier [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2010, 31(2):100-111.
- [9] ELGAMMAL A, HARWOOD D, DAVIS L. Non-parametric model for background subtraction [C]//Proc of ECCV. 2000:751-767.
- [10] 褚一平,陈勤,黄叶珏,等.基于判别模型的视频前景/阴影自动分割算法[J]. *模式识别与人工智能*, 2008, 21(6):849-855.
- [11] TABBONE S, WENDLING L, SALMON J P. A new shape descriptor defined on the Radon transform[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2006, 102(1):42-51.
- [12] 张浩,刘志镜.加权 DTW 距离的自动步态识别[J]. *中国图象图形学报*, 2009, 15(5):830-836.
- [13] 敦文杰,穆志纯.基于特征融合的人脸人耳多生物身份鉴别[J]. *天津大学学报*, 2009, 42(7):636-641.
- [14] 姚勇,赵辉,刘志镜.一种非线性支持向量机决策树多值分类器[J]. *西安电子科技大学学报*, 2007, 34(6):873-876.

(上接第 3150 页)

表 1 几种调焦评价函数计算时间比较 /ms

算法	最短时间	最长时间	平均时间
新算法	13	18	15.4
方差函数	43	50	47.1
SMD 函数	20	44	29.8
熵函数	31	46	38.5
4 邻域拉普拉斯函数	41	56	47.3

由表 1 可知,与其他三种算法相比较,新算法和 SMD 函数计算时间较快,实时性最好;新算法较 SMD 算法有更高的灵敏度;综合考虑选择性能最好的新算法和 SMD 算法作为本文系统的自动调焦评价算法。

### 3 结束语

聚焦准确的图像有尖锐、清晰的边缘,本文利用这一特征提出了一种基于灰度分割的调焦算法。新算法具有灵敏度可调的特性,并对算法的运算步骤进行合并和简化,使得算法有很好的实时性。综上,该图像清晰度算法适合作为自动调焦系统中的调焦评价函数。

### 参考文献:

- [1] 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):69-72.
- [2] 朱孔凤,姜威,王瑞芳,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):464-468.
- [3] HUANG Yan, YE Dong, CHE Ren-sheng. Novel auto-focusing method [C]//Proc of SPIE. 2010.
- [4] SUBBARAO M, TYAN J K. Selection the optimal focus measure for auto-focusing and depth from focus [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20(8):864-870.
- [5] 陈国金,朱妙芬,张克松.图像调焦过程的清晰度评价函数研究[J]. *数据采集与处理*, 2009, 24(2):165-169.
- [6] 俞璐.灰度图像分割技术研究[D].南京:东南大学,2007.
- [7] 章毓晋.图像分割[M].北京:科学出版社,2001.
- [8] 石荣刚,李志远,江涛.图像分割的常用方法及其应用[J]. *现代电子技术*, 2007, 30(12):111-114.
- [9] 董梁,王忠民.图像边缘检测算法研究[J]. *现代电子技术*, 2007, 30(15):179-180.
- [10] 曹建农.基于玻耳兹曼熵分析的图像分割方法研究[J]. *计算机应用研究*, 2011, 28(10):3920-3924.