

基于图像模糊熵邻域非一致性的过渡区提取与分割

王彦春, 梁德群, 王 演

(大连海事大学信息科学技术学院, 辽宁大连 116026)

摘要: 本文提出了一种基于图像模糊熵邻域非一致性的过渡区直接提取和分割算法. 通过求出图像中介于目标和背景之间的过渡区, 根据过渡区直方图获得一个最佳分割阈值. 构造了描述模糊划分的隶属函数, 模糊熵及其邻域非一致性测度. 本文算法摆脱了传统图像过渡区提取算法对噪声比较敏感且受剪切值 L_{low} 与 L_{high} 的限制. 理论分析和实验结果表明, 本文算法具有速度快, 抗噪声性能好和稳健性强等特点, 优于现有其它基于过渡区提取和分割算法.

关键词: 模糊熵; 邻域非一致性; 过渡区; 图像提取与分割

中图分类号: TP319 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2008) 12-2445-05

Transition Region Extraction and Segmentation Based on Image Fuzzy Entropy Neighborhood Unhomogeneity

WANG Yar chun, LIANG De qun, WANG Yan

(School of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning 116026, China)

Abstract: A transition region extraction and segmentation method based on image fuzzy entropy neighborhood unhomogeneity (NU-TRES) is presented, which is characterized by its speed, ability to deal with noise and robustness. Obtaining a transition region located between the object and background, an optimal segmentation threshold is attained based on the transition region histogram. The membership degree which describes fuzzy division, fuzzy entropy and neighborhood unhomogeneity measurement are created. NU-TRES is not so sensitive to noise as the conventional transition region extraction methods, depending no more on L_{low} and L_{high} . Analysis and experimental results show that this new algorithm (NU-TRES) significantly outperforms the existing transition region extraction and segmentation methods.

Key words: fuzzy entropy; neighborhood unhomogeneity; transition region; image extraction and segmentation

1 引言

图像分割是从一幅图像中提取感兴趣的目标, 它是图像分析和图像理解的重要组成部分, 分割结果对图像后续处理有很大的影响, 在实际中有着广泛的应用. 多年来, 许多学者在图像分割方面做了大量的研究工作. 阈值分割是图像分割的常用方法, 其中过渡区算法是近年来提出的一种阈值分割算法, 基于过渡区的分割方法是一种介于边界和区域的方法^[1]. 图像边缘是两种不同属性区域的交接处, 即区域属性发生突变的地方, 因此是图像中不确定性最大的区域. 边缘区域可划分为三部分: 区域 R_1 、区域 R_2 、区域 R_1 和区域 R_2 的过渡区 R_E . 在过渡区图像灰度发生突变, 过渡区灰度值一般介于 R_1 和 R_2 两个区域灰度值之间, 过渡区是图像灰度等级层次分布较多的区域, 因此包含着丰富的信息量. 1988年 Gerbrands 对过渡区的性质进行了系统的描述^[2]. 1991年 Zhang 等人首次将有效平均梯度 (Effective Average Gradient) 和灰度剪切 (Clip Transformation) 等过渡区提取

技术应用于图像分割^[3]. 为了进一步消除噪声的影响, 2001年梁学军等人提出了加权梯度算子^[4], 对梯度图像进行了正态分布的加权运算, 从而在一定程度上抑制了随机噪声, 能够更好地提取过渡区. 同年乐宁等人提出使用一元线性回归方法消除随机波动对曲线的影响, 使曲线变得更加平滑^[5]. 梯度算子在图像的边缘提取中有着极其重要的作用, 但其缺点是对噪声比较敏感^[2]. 闫成新等人2003年提出了基于局部熵的过渡区提取和阈值分割算法^[6], 2005年又提出基于局部复杂度的过渡区直接提取算法^[7], 虽然这两种算法都能够克服梯度方法对椒盐噪声的敏感性, 但仍然无法有效地抵抗高斯噪声.

在已有的过渡区确定方法中, 有一个默认的前提, 即过渡区所在的图像区域是整幅图像中灰度变化最为剧烈的区域, 图像中的其它区域 (前景和背景) 即使有一定的灰度变化, 但与过渡区相比, 其影响可以忽略不计, 这在某种程度上忽略了前景区域和背景区域中噪声的影响. 典型的基于梯度方法的过渡区间接提取算法使用

了有效平均梯度及对灰度的剪切^[1]。

本文提出一种基于图像模糊熵邻域非一致性的过渡区直接提取算法。这种算法利用过渡区和目标区/背景区性质上的差异,能够有效地消除椒盐噪声和高斯噪声对过渡区提取的影响,对同时存在椒盐噪声和高斯噪声的过渡区的提取是非常有效的。本文的算法摆脱了对灰度剪切值的依赖,从而使过渡区能够很好地分布在目标周围。理论分析和实验结果表明,本文的算法能够有效地提取含有混合噪声图像中的过渡区,从而得到正确的分割阈值和良好的图像分割质量,其抗噪性能及有效性优于现有的基于过渡区分割算法。

2 过渡区的直接提取算法

针对上述典型算法的不足,本文提出了基于图像模糊熵邻域非一致性的过渡区直接提取算法。算法由三部分构成:构造描述模糊划分的隶属函数,模糊熵表达式和模糊熵的邻域非一致性测度。

2.1 构造隶属函数

对于理想的图像分割,其各个区域中的像素特征应该是相近的,并存在一些能够完全表征区域性质的“核心像素”。反映到图像的模糊划分上,就是描述每个区域的模糊集都是正规的,核(隶属度为1的元素的集合)为这个区域的平均灰度值 μ_i 或包含平均灰度值的区间 $[\mu_i^-, \mu_i^+]$,称之为这个区域的“指标灰度值”。

设当前像素点的坐标为 (i, j) , $X = [x(i, j)]_{M \times N}$ 表示大小为 $M \times N$ 的灰度图像区域,其灰度级为 l , $l \in \{\text{Min} \dots \text{Max}\}$ 为灰度等级,Min和Max是区域灰度最小和最大值, m 是所选区域中心像素灰度值。将图像中像素的灰度值归一化到 $[0, 1]$ 区间,以图像的灰度级为论域,可以构造一个模糊集合,其隶属度表示为:

$$u_m[x(i, j)] = \frac{1}{1 + |x(i, j) - m|} \quad (1)$$

式(1)表示了图像中像素与其所属区域的隶属程度。若一个像素与其所属区域特征值的差异越小,则该像素的隶属度越大;反之,则该像素的隶属度越小。

2.2 模糊熵

模糊集是通过隶属函数来描述的。然而,确定模糊集隶属函数的方法有各种各样,常常带有主观性。即使在同一论域上刻划同一个模糊概念,不同的人或者用不同的判别标准,所得出的各元素的隶属度也不尽相同。因此,模糊集的隶属函数定义的“好”还是“不好”,一个客观的衡量指标就是它的模糊度^[8]。

模糊度概念的引入,为定量地度量集合的模糊性提供了一个方法,它反映的是在判别一个元素是否属于一个集合时不确定性的平均量。模糊度的计算公式为模糊熵^[9, 10]。本文定义的模糊熵为

$$H_m\{u_m[x(i, j)]\} = -u_m[x(i, j)] \log_2 u_m[x(i, j)] - \{1 - u_m[x(i, j)]\} \log_2 \{1 - u_m[x(i, j)]\} \quad (2)$$

模糊熵随 $x(i, j)$ 的变化曲线如图1所示。可以看出,当灰度值 $x(i, j) = m$ 时, $m \in [0, 1]$, 模糊熵最小,且在 $x(i, j) = m$ 附近具有对称性。因此,本文构造的模糊熵不仅可在任意灰度值处达到最小值,而且也具有对称性。

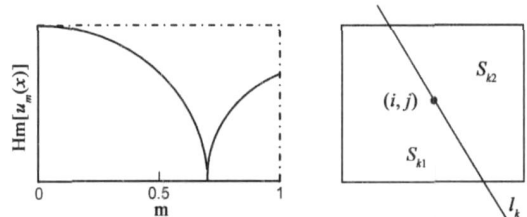


图1 模糊熵随 x 的变化曲线

图2 邻域划分图示

为了度量定义在图像区域上的模糊集合的模糊属性,本文还定义了一种区域模糊熵测度,即

$$E_m(i, j) = \frac{1}{(M+1) \times (N+1)} \sum_{k=-M/2}^{M/2} \sum_{l=-N/2}^{N/2} H_m\{u_m[x(i+k, j+l)]\} \quad (3)$$

在式(1)中,令 $m = x(i, j)$, 当区域的灰度值和中心 (i, j) 处的灰度值 $x(i, j)$ 相等或接近时,模糊熵测度 $E_m(i, j)$ 为零或较小;反之,模糊熵测度较大。当中心 (i, j) 点处于图像平滑区时,区域内的灰度值比较一致,均接近于中心处的灰度值 $x(i, j)$, 此时 $E_m(i, j)$ 较小。当中心点 (i, j) 处于图像的边缘区时,区域内的灰度值差异较大,此时 $E_m(i, j)$ 较大,因此 $E_m(i, j)$ 值反映了该区域灰度值的非一致特性,对于噪声来讲,由于其分布和强度在概率上是相等的,噪声的影响被相互削弱了,不会对 $E_m(i, j)$ 值造成大的影响,因此局部模糊熵测度 $E_m(i, j)$ 具有较好的抗噪性能。

2.3 模糊熵的邻域非一致性测度

过渡区的灰度分布和平滑区的灰度分布是不同的,平滑区灰度分布差异较小,过渡区灰度分布差异较大。测度能够有效地描述过渡区特性^[11]。本文定义了一种模糊熵邻域非一致性测度,用来表征灰度分布的无序性。

区域 $R = \{(m, n) \mid |m-i| \leq L, |n-j| \leq L\}$ 以 (i, j) 为中心, L 是区域长度的一半。 l_k 是过中心点且角度为 θ_k 的一条直线,将区域分成两部分 S_{k1} 和 S_{k2} , 其中 $0^\circ \leq \theta_k \leq 180^\circ$ ($k = 1, 2, \dots$), 邻域划分如图2所示,

本文提出的基于模糊熵邻域非一致性测度 $R(i, j)$ 为

$$R(i, j) = \max_{0^\circ \leq \theta_k \leq 180^\circ} \frac{|E_{k1} - E_{k2}|}{(2L+1)L} \quad (4)$$

其中, $|E_{k1} - E_{k2}|$ 表示两部分 S_{k1} 和 S_{k2} 的模糊熵梯度幅值。当最大值不等于最小值时, E_{k1} 和 E_{k2} 分别是 S_{k1} 和

S_{k2} 中去掉最大和最小值后,剩下的像素的平均值,并分别记为 m_1 和 m_2 (见式(1)),即

$$E_{k1} = \sum_{(p,q) \in S_{k1}} H_{m1}(u_{m1}(x(p,q))) \quad (5)$$

$$E_{k2} = \sum_{(p,q) \in S_{k2}} H_{m2}(u_{m2}(x(p,q))) \quad (6)$$

若当前区域内存在过中心点的过渡区,当 l_k 方向和过渡区方向重合时, $R(i,j)$ 取得极大值.由于过渡区具有结构性,处于过渡区中各点的梯度幅值比较接近极大值,若当前区域是平滑区,则无论 l_k 是什么方向, $R(i,j)$ 的值都比较接近且较小,且近似等于当前像素点 (i,j) 处的梯度值.

对于有噪声干扰的图像,由于 $R(i,j)$ 的计算是先将像素的灰度值映射为模糊熵,因此就抑制了噪声.由于噪声是随机的,落到 S_{k1} 和 S_{k2} 区域是等概率的,所以 E_{k1} 和 E_{k2} 的差值会削弱噪声的作用;最后求平均值将进一步削弱噪声对过渡区的影响.因此 $R(i,j)$ 具有良好的抗噪性能.

针对上述模糊熵邻域非一致性的特点,可以把该模糊熵邻域非一致性的值赋给窗口中心像素 (i,j) ,然后在整幅图像上遍历窗口,由此可以得到模糊熵邻域非一致性图像测度.在模糊熵邻域非一致性图像中,由于过渡区像素一致性差,灰度层次丰富,具有较高的模糊熵邻域非一致性测度值,因此目标内部与背景内部像素一致性好,具有较低的模糊熵邻域非一致性测度.根据分割要求设定合适的模糊熵邻域非一致性测度阈值,将大于该阈值的像素提取出来,就可以得到原图像的过渡区.得到过渡区以后,再根据过渡区直方图的峰值或均值得到最终分割阈值^[3].

3 过渡区提取算法步骤

基于图像模糊熵邻域非一致性测度过渡区提取算法步骤概括如下:

- (1) 设定邻域窗尺寸;
- (2) 由式(4)计算模糊熵的邻域非一致性测度;
- (3) 根据模糊熵邻域非一致性测度设定阈值,提取原图像的过渡区;
- (4) 根据过渡区直方图自动获得分割阈值;
- (5) 根据阈值分割图像.

局部窗口的尺寸选择必须适当,尺寸过小时,窗口内像素数太少,不能反映窗口内的灰度变化信息,尺寸过大时,则会导致过渡区测度值趋同.模糊熵的邻域非一致性测度阈值设定可由下式计算

$$T = \alpha \times R \quad (7)$$

式中, $0 < \alpha < 1$, α 决定了过渡区像素数的多少.为了保证过渡区具有适当的像素数,一般取 $0.6 < \alpha < 1$.

4 实验结果和分析

为了验证本文算法的有效性,分别对不同的图像、加入不同强度椒盐噪声和不同方差的高斯白噪声进行过渡区提取与分割实验,并与传统的加权梯度算法(W-EAG)和局部复杂度算法(G-TREM)分别比较图像分割效果和运行时间.

4.1 红外图像分割实验

红外图像分割是红外目标制导和自动目标识别的关键技术.由于红外目标与周围的背景存在热交换,而且大气对热辐射具有散射及吸收作用,因此红外图像中目标和背景的对比较低,边缘模糊,往往得不到理想的分割效果.图3(a)为原始电厂红外图像,图3(b)为加入强度 $D=0.04$ 的椒盐噪声后的图像,图3(c)和图3(f)分别为加权梯度法提取的过渡区和分割结果.从图3(c)可知,加权梯度法提取的过渡区范围小(图中两个小方框所示),而且没有分布在目标周围,冷却塔周围的大部分过渡区没有提取出来,所提取出来的过渡区实际是图像中亮度反差最大,即梯度值最大的地方.过渡区提取的不准确性导致了图3(f)的分割结果不理想,两个烟囱分割不完全.图3(d)是利用局部复杂度算法提取的过渡区,其效果优于梯度法.图3(g)是该算法的分割结果,由图3(g)可知左边烟囱分割不完全.图3(e)为本文算法提取的过渡区,图像模糊熵邻域非一致性测度最小(已反色)的地方出现在机房及冷却塔附近,也就是

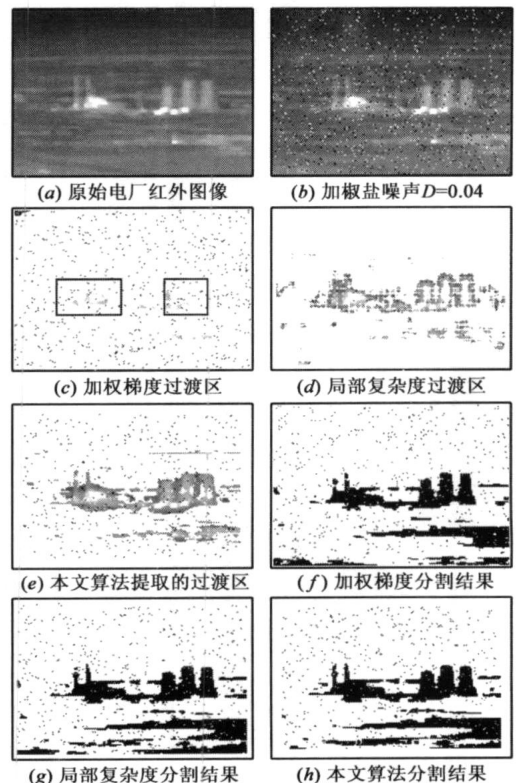


图3 红外图像的过渡区提取与分割

图像中像素之间相似度最小, 灰度变化最明显的地方. 从图中看到, 过渡区被完整地提取出来, 而且精确地分布在目标周围. 由于过渡区的提取准确, 图 3(h) 的分割结果明显优于图 3(f) 图 3(g) 的分割结果.

4.2 医学图像分割实验

为检验本文算法抵抗混合噪声(加高斯白噪声和椒盐噪声)的性能, 实验以显微图像为例, 图 4(a) 是无噪声时的原始图像. 图 4(b) 和 (d) 分割效果基本相同, 而

图 4(c) 细胞发生错误合并(方框区域). 当加入方差 $V = 0.02$ 的高斯白噪声和强度 $D = 0.1$ 的椒盐噪声时, 图 4(b1) 和 (c1) 细胞发生粘连(方框区域), 而且背景有一定的噪声. 当加入方差 $V = 0.03$ 的高斯白噪声和强度 $D = 0.2$ 的椒盐噪声时, 图 4(b2) 和 (c2) 细胞发生更多粘连(方框区域), 而且背景噪声很大, 因此分割效果很差. 由图 4(d1) 和 (d2) 可知, 本文分割效果优于其它两种算法.

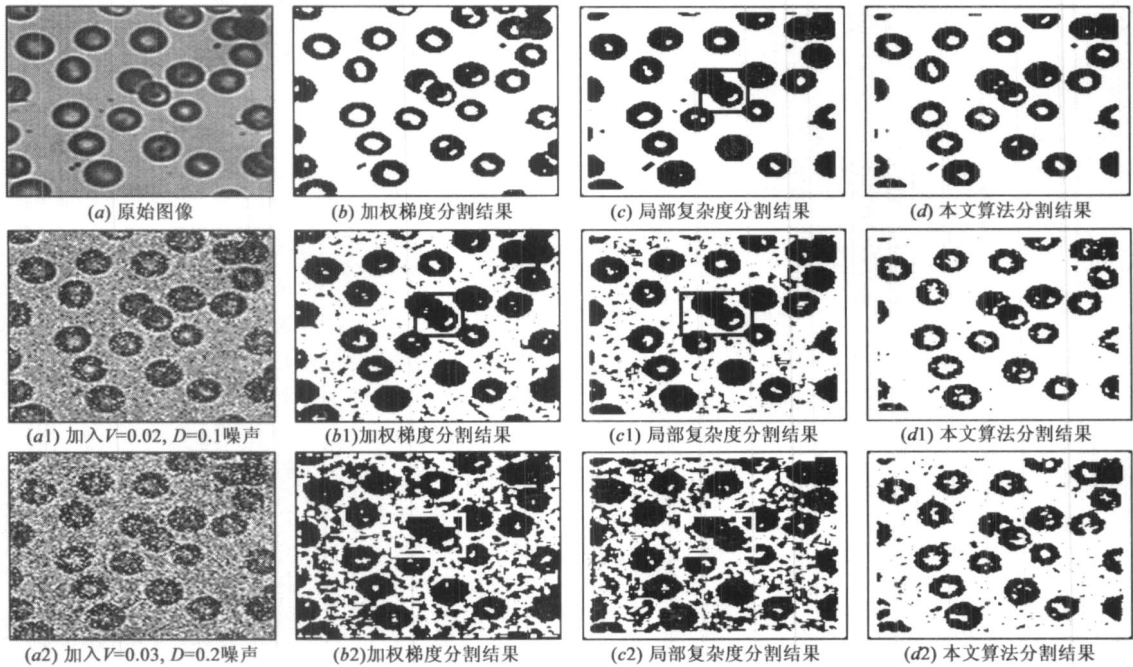


图4 显微图像时, 分割对比试验

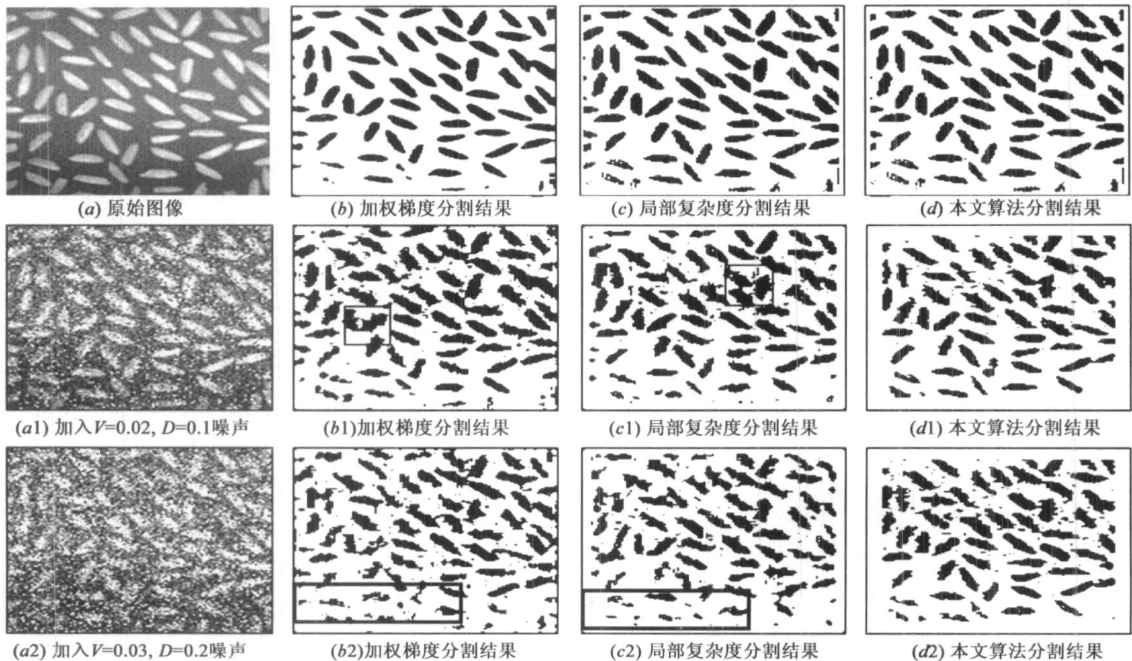


图5 自然图像时, 分割对比试验

4.3 自然图像分割实验

为进一步检验本算法抵抗混合噪声的性能, 实验以不均匀光照下米粒图像为例(见图 5). 在无噪声情况下三种分割结果基本相同. 当加入方差 $V=0.02$ 的高斯白噪声和强度 $D=0.1$ 的椒盐噪声时, 图 5(b1) 和 (c1) 发生米粒粘连(方框区域), 并且有一些发生断裂(图像的底部). 当加入方差 $V=0.03$ 的高斯白噪声和强度 $D=0.2$ 的椒盐噪声时, 图 5(b2) 和 (c2) 米粒严重变形; 相互粘连概率增大, 且在背景较暗区域有严重断裂. 由图 5(d1) 和 (d2) 可知, 本文分割效果优于其它两种算法.

4.4 算法复杂度分析与实验

通过实验, 对不同尺寸的另一图像, 比较了本文算法和其它两种算法的运算复杂度. 使用 Matlab6.5.1, 窗口 5×5 , CPU 3.20GHz. 对比结果见表 1. 从表 1 可以看出, 本文算法的计算时间短于其它两种算法.

表 1 运算复杂度对比实验(运算时间以秒计)

图像大小 (像素)	128×128	197×147	249×159	256×256
加权梯度算法	16.347	28.352	59.136	87.321
局部复杂度算法	13.407	25.640	43.375	59.342
本文算法	5.578	8.870	9.453	14.578

5 结论

过渡区提取的阈值分割是近年来发展起来的图像分割新算法, 过渡区的提取是该算法的核心环节. 传统的过渡区提取算法对噪声比较敏感, 而且依赖于灰度剪切值 L_{low} 与 L_{high} . 本文提出了基于图像模糊熵邻域非一致性测度的过渡区提取算法, 获得了良好的分割效果. 实验表明, 本文算法优于现有的过渡区提取算法. 与传统的几种阈值分割算法相比, 具有良好的分割性能, 是一种有效的过渡区提取与分割算法. 即使加入方差为 0.03 的高斯白噪声和强度 0.2 椒盐噪声时仍能目标较好分割出来, 本算法具有较好的抗噪性能和稳健性.

参考文献:

- [1] 章毓晋. 过渡区和图像分割[J]. 电子学报, 1996, 24(1): 12-17.
ZHANG Yur jin. Transition region and image segmentation[J]. Acta Electronica Sinica, 1996, 24(1): 12-17. (in Chinese)
- [2] J J Gerbrands. Segmentation of noise image[D]. Delft: Delft University, 1988. (in Netherlands)
- [3] Y J Zhang, J J Gerbrands. Transition region determination based thresholding[J]. Pattern Recognition Letters, 1991, 12(1): 13-23.
- [4] 梁学军, 乐宁. 基于光强加权梯度算子的图像过渡区算法

[J]. 图像识别与自动化, 2001(1): 4-7.

LIANG Xue jun, LE Ning. Transition region algorithm based on weighted gradient operator[J]. Image Recognition and Automatization, 2001(1): 4-7. (in Chinese)

- [5] 乐宁, 梁学军, 翁世修. 图像过渡区算法及其改进[J]. 红外与毫米波学报, 2001, 20(3): 211-214.
LE Ning, LIANG Xue jun, WENG Shi xiu. The algorithm of image transition region and its improvement[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2001, 20(3): 211-214. (in Chinese)
- [6] Chengxin Yan, Nong Sang, Tianxu Zhang. Local entropy based transition region extraction and thresholding[J]. Pattern Recognition Letters 24 (2003) 2935-2941.
- [7] 闫成新, 桑农, 张天序, 等. 基于局部复杂度的图像过渡区提取与分割[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(4): 312-316.
YAN Cheng xin, SANG Nong, ZHANG Tian xu, et al. Image transition region extraction and segmentation based on local complexity[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2005, 24(4): 312-316. (in Chinese)
- [8] N R Pal, J C Bezdek. Measuring Fuzzy Uncertainty[J]. IEEE Trans Fuzzy Systems, 1994, 2(2): 107-118.
- [9] R M Capocelli, A De Luca. fuzzy sets and decision theory[J]. Information and Control, 1973, 23(5): 446-473.
- [10] A De Luca, S Termini. Entropy of L? fuzzy sets[J]. Information and Control, 1974, 24(1): 55-73.
- [11] 杨焯. 基于图像信息测度的多尺度边缘检测方法研究[D]. 西安: 西安交通大学, 1998.
Yang X. Study of multiscale edge detection method based on image information measure[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1998. (in Chinese)

作者简介:



王彦春 男, 1962年9月生于内蒙古扎赉特旗, 现为大连海事大学通信与信息系统专业博士研究生. 主要研究方向: 数字图像处理, 计算机视觉, 模糊信息处理, 模式识别.
E-mail: yanchwang@yahoo.com.cn



梁德群 男, 1940年生于辽宁大连, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 数字图像处理, 计算机视觉, 数字通信的调制新技术.
E-mail: ldq40@sohu.com