

文章编号:1001-9014(2007)05-0386-04

## 基于局部模糊方差的过渡区提取及图像分割

田岩<sup>1</sup>, 刘继军<sup>1</sup>, 谢玉波<sup>1</sup>, 史文中<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074; 2. 香港理工大学土地测量及地理资讯学系, 香港)

**摘要:**为取得良好的图像分割效果,利用局部模糊方差区分过渡区与背景区的差异,提出了一种基于局部模糊方差的图像过渡区提取方法并用于图像的分割.首先将利用模糊集构造模糊方差的方法拓展到二维图像的情形,进而利用局部模糊方差构造过渡区.在此基础上通过多阈值的选择方法在过渡区上确定阈值,最后将其用于图像分割.实验结果表明所提方法具有较强的鲁棒性,并能取得良好的分割效果.

**关键词:**图像分割;过渡区;局部模糊方差;阈值

**中图分类号:**TP319.4 **文献标识码:**A

## EXTRACTION OF TRANSITION REGION AND IMAGE SEGMENTATION BASED ON LOCAL FUZZY VARIANCE

TIAN Yan<sup>1</sup>, LIU Ji-Jun<sup>1</sup>, XIE Yu-Bo<sup>1</sup>, SHI Wen-Zhong<sup>2</sup>

(1. Electronics and Information Engineering Department, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Department of Land Surveying and Geo-Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

**Abstract:** To obtain a favorable segmented result of an image, a transition region method, based on the difference of local fuzzy variance between transition region and background, was proposed and used for image segmentation. First, the method to construct fuzzy variance based on fuzzy set was extended to the case of two dimensional image; second, a transition region was obtained by the local fuzzy variance; and at last the final segmented result was acquired by a multi-threshold selecting method. Experimental results show that the proposed method is robust and it can provide satisfactory segmented result.

**Key words:** image segmentation; transition region; local fuzzy variance; threshold

### 引言

作为图像处理及其机器视觉领域中的关键和基础问题之一,图像分割的结果直接影响到后续的特征提取及目标识别任务的达成.图像分割主要基于灰度值的两个基本特性:不连续性和相似性,对应于前者提出的方法主要是边缘检测;对应于后者主要包括区域生长法、区域分裂与合并及最大类间方差<sup>[1]</sup>等.近年来,随着相关理论的发展,一些新的方法(统计理论<sup>[2]</sup>、模糊理论、小波理论、非线性扩散方程、形态学理论等)也被应用于图像分割.由于图像的复杂性和应用的多样性,还没有一种通用的理论作为图像分割的指导原则,现存的图像分割方法并没有一种普遍适用的最优方法.所以,有效的图像分割方法依然是图像处理领域一个热点问题.

图像中有一类特殊区域,一方面它将不同的区域分隔开来,具有边界的特点,另一方面其面积不为零,具有区域的特点,这种特殊的区域称为图像过渡区,它是介于目标和背景之间的区域,而且包含的像素的灰度一般在目标和背景之间.基于过渡区提取的图像分割近十多年来得到了广泛的关注<sup>[4,7]</sup>.

从提取方式上,过渡区提取方法可分为间接提取<sup>[4,5]</sup>与直接提取<sup>[6,7]</sup>.对于间接方法,文[4]采用一元线性回归的方法消除局部区域随机波动,提高了过渡区判定过程的鲁棒性和定位精度.文[5]提出基于光强加权梯度算子的过渡区提取方法,使其对噪声的适应能力有较大的提高.间接提取过分依赖于灰度剪切值并可能由此导致过渡区的偏移,甚至无法提取.对于直接方法,文[6]提出基于局部熵的过渡区方法,克服了基于梯度方法对椒盐噪声敏感

收稿日期:2006-11-27,修回日期:2007-06-21

Received date: 2006-11-27, revised date: 2007-06-21

基金项目:国家自然科学基金资助(60572048, 60475024), Research on Grants Council of the Hong Kong SAR (Project No. PolyU5153/04E)

作者简介:田岩(1970-),男,山东微山人,华中科技大学副教授,博士,主要研究方向包括数字图像处理、模式识别、PDE理论及小波分析等.

的不足,但这种方法抗噪性较差,同时算法复杂度也较高.文[7]提出基于局部复杂度的过渡区直接提取算法.局部复杂度的滤波作用提高了算法的抗噪性,直接提取使算法摆脱了对灰度剪切值的依赖.从提取算子来看,图像过渡区的直接提取方法可分为梯度法与非梯度法.梯度法对无噪图像可取得良好的效果.考虑到间接提取方法的不确定性以及梯度算子对噪声的敏感,因此研究过渡区直接提取方法中的非梯度法是一种自然的选择.

为此,本文针对含噪且场景相对复杂的图像,通过分析其过渡区与背景区的特点,研究一种基于局部模糊方差的过渡区提取算法并用于图像的分割,该方法一方面可以有效的抑制噪声的影响,另一方面也具有良好的分割性能.为验证本文过渡区提取算法的有效性,我们选择基于局部熵和局部复杂度的过渡区提取方法进行对比试验,并将本文的分割方法同常用的 OSTU、最大熵、区域生长及 sobel 梯度算子分割方法进行比较,实验结果验证了本文算法的有效性.

## 1 局部模糊方差的构造

按照模糊集理论,具有  $L$  灰度级,大小为  $M \times N$  的图像  $f$  可以视为模糊点集矩阵<sup>[3]</sup>,如(1)所示:

$$f = \begin{pmatrix} \mu_{11}(f(1,1)) & \cdots & \mu_{1N}(f(1,N)) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{M1}(f(M,1)) & \cdots & \mu_{MN}(f(M,N)) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

其中  $\mu_{ij}(f(i,j))$  表示矩阵中第  $(i,j)$  个模糊单点集的隶属度为  $\mu_{ij}(0 \leq \mu_{ij} \leq 1)$ .

隶属度可按标准的 S 型函数计算:

$$S(f(i,j); a, b, c) = \begin{cases} 0 & f(i,j) \leq a; \\ 2[(f(i,j) - a)/(c - a)]^2 & a < f(i,j) \leq b; \\ 1 - 2[(f(i,j) - a)/(c - a)]^2 & b < f(i,j) < c; \\ 1 & f(i,j) \geq c \end{cases}, \quad (2)$$

这里  $a$  与  $c$  分别代表 S 函数中模糊窗宽的下界和上界,且随所取模糊窗的不同而发生变化,  $b = (a + c)/2$  在概率论中度量剩余信息量,在模糊集论中可用来度量一个模糊集合所含有的模糊性的大小,模糊集 A 的模糊方差定义为

$$V(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [S(\mu_A(X_i)) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(\mu_A(X_i))]^2, \quad (3)$$

式(3)中  $S(\cdot)$  为香农函数  $S(x) = -x \ln x - (1 - x) \ln(1 - x)$ . 现将模糊方差按如下方式推广到二维图像:

$$V(f(i,j)) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [S(\mu_{ij}(f(i,j))) - \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S(\mu_{ij}(f(i,j)))]^2, \quad (4)$$

这样整幅图像的模糊度可由它的模糊方差来衡量,但全局模糊方差没有考虑到像素点在空间上的分布信息,不能衡量图像中局部区域的模糊性.故需要将全局模糊方差推广到局部模糊方差.这可以通过计算图像中一个  $M_k \times N_k$  的小邻域  $\Psi_k$  的模糊方差得到:

$$V(\Psi_k) = \frac{1}{M_k N_k} \sum_{i=1}^{M_k} \sum_{j=1}^{N_k} [S(\mu_{ij}(f(i,j))) - \frac{1}{M_k N_k} \sum_{i=1}^{M_k} \sum_{j=1}^{N_k} S(\mu_{ij}(f(i,j)))]^2. \quad (5)$$

从式(2)和式(3)两式可看出,由于目标(或背景)区域灰度级的分布比较集中,具有较小的局部模糊方差,而过渡区灰度级分布比较分散,局部模糊方差较大,据此可实现过渡区的提取.

## 2 利用局部模糊方差提取过渡区

过渡区环绕在目标的周围有一定的宽度,其内部的灰度级变化剧烈,而目标和背景区域内的灰度级变化平缓.图像中存在的高斯噪声加大了局部区域灰度级变化的频率,使目标(或背景)区域的局部方差增大,这些都影响过渡区的提取.噪声的存在虽然改变了目标区(或背景区)的灰度级变化频率,但是对灰度级分布的集中程度没有很大的改变.过渡区内由于灰度级变化剧烈,灰度级的分布较为分散,局部模糊方差能很好地区分这种灰度级分布的集中程度.

利用局部模糊方差提取过渡区最大的困难在于邻域  $\Psi_k$  大小的选择,尺寸大小难以确定.通过大量的实验发现  $5 \times 5$  和  $7 \times 7$  窗口尺寸适合于本文算法.在采用式(2)计算隶属度时,  $b$  为一幅图像(或子图)的平均灰度,模糊带宽度  $W = \max((f_{\max} - b), (b - f_{\min}))$ , 而  $f_{\min}$  和  $f_{\max}$  分别表示窗口内像素的最小和最大灰度.因此  $a = b - W, c = b + W$ . 在得到邻域内每个像素的隶属度后,由式(5)获得邻域  $\Psi_k$  的模糊方差.用同样的方法将这一窗口在整幅图像中移动,就可以得到这幅图像的局部模糊方差图.

## 3 基于过渡区的图像分割

根据上节的分析,设定模糊方差的分割阈值  $V_{\text{threshold}} = \alpha V(\Psi_k)_{\max}$ ,  $\alpha \in (0, 1)$ , 其中  $V(\Psi_k)_{\max}$  是

局部模糊方差的最大值,分割出  $V(\Psi_k) < V_{threshold}$  的部分是非过渡区,反之就是过渡区.在此基础上,采用一种基于过渡区的多阈值自动选取<sup>[8]</sup>来对图像进行分割.首先构造对称非最大抑制滤波器检测过渡区直方图的多个峰值,然后使用差异度与位面数的代价函数决定最优类别个数及阈值.具体步骤为:

Step1:假定对称非最大抑制滤波器为  $\phi(t, w)$ ,  $w$  为其带宽.过渡区直方图为  $f(i) = m_i / \sum m_i; i = 0, 1, \dots, 255$  为灰度级,  $m_i$  为过渡区像素中具有灰度级  $i$  的像素个数.

Step2:求取  $\phi(t, w)$  内的直方图数据的  $f(i)$  最大值,并将其保留,其他置 0.

Step3:对  $\phi(t, w)$  进行对称性判断,以保证滤波器检测出的最大值为局部高斯分布的峰值.若  $\arg(\max f(i)) = 1 + w/2$ ,则上述对称非最大抑制滤波器形式为  $\phi(t, w) = \begin{cases} 1 & (t = w/2 + 1) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases}$ ; 否

则为 1.

Step4:将  $\phi(t, w)$  作用于过渡区直方图,即可得到该直方图的多个峰值.

Step5:按下式的代价函数决定最优类别个数:

$$C(k) = \rho \sqrt{D(k)} + (\log_2^k)^2, \quad (6)$$

其中  $0 \leq \rho \leq 1$ ,  $D(k) = \sum_{i=1}^k P_i \sigma_i^2$  为差异函数,  $P_i$  为多阈值分割后第  $i$  个区域(类别)的先验概率,  $\sigma_i^2$  为第  $i$  个区域(类别)的标准偏差.由式(6)决定最优类别个数为  $K^* = \arg(\min(C(k)))$ .由此最优阈值的个数为  $K^* - 1$ ,选择对应的  $K^* - 1$  个阈值分割图像.

#### 4 实验结果及分析

以下实验是使用 MATLAB 6.5 工具软件在 CPU 为 Pentium IV 1.7GHz, RAM 为 768MB 的微机上运算得到的.实验数据 1 是一幅红外遥感图像见图 1 (a)(叠加了方差为 0.001 的高斯噪声),这里感兴趣目标是飞机.第二幅实验数据如图 3 (a) 所示的 Lidar 影像(待分目标是图像场景中的建筑物),含有方差为 0.002 的高斯噪声.

为了进行对比测试,这里选择应用较为广泛的基于局部熵和局部复杂度过渡区的分割方法.针对不同的方法其参数设置与实验数据见表 1.从图 1 和图 3 可以看出,无论是基于局部熵还是基于局部复杂度的过渡区提取都没能较好的将过渡区提取出来,而本文的方法(图 1 (b) 和图 3 (b))基本上能将

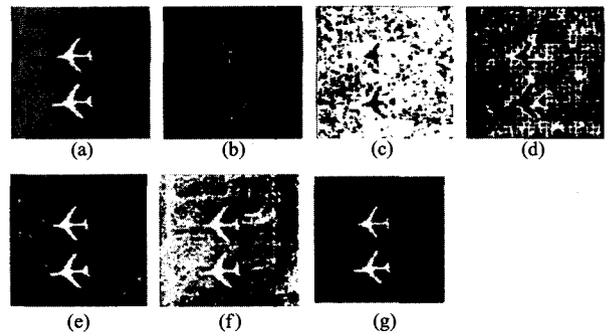


图 1 (a) 原图; (b) 本文方法的过渡区提取结果; (c) 基于局部复杂度的过渡区提取结果; (d) 基于局部熵的过渡区提取结果; (e) 基于过渡区 (b) 的分割结果; (f) 基于过渡区 (c) 的多阈值分割结果; (g) 基于过渡区 (d) 的分割结果  
Fig. 1 (a) Original image, (b) transition region provided by the proposed method, (c) transition region based on local complexity, (d) transition region based on local entropy, (e) segmentation result based on the transition region (b), (f) segmentation result based on the transition region (c), (g) segmentation result based on the transition region (d).

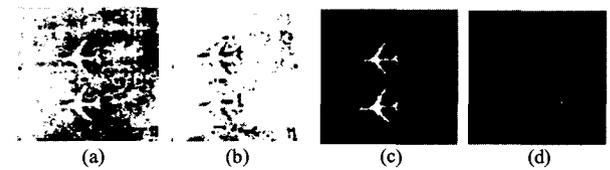


图 2 (a) 基于 OSTU 的分割结果 (b) 最大熵的分割结果 (c) 区域生长的分割结果 (d) Sobel 梯度算子的分割结果  
Fig. 2 (a) Segmentation result based on OSTU, (b) segmentation result based on maximum entropy, (c) segmentation result based on region growing, (d) segmentation result based on Sobel operator

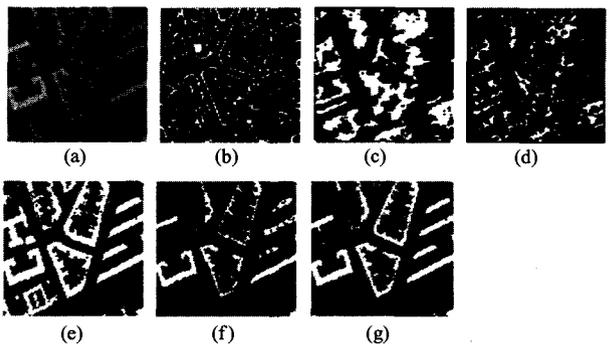


图 3 (a) 原图; (b) 本文方法的过渡区提取结果; (c) 基于局部复杂度的过渡区提取结果; (d) 基于局部熵的过渡区提取结果; (e) 基于过渡区 (b) 的分割结果; (f) 基于过渡区 (c) 的多阈值分割结果; (g) 基于过渡区 (d) 的分割结果  
Fig. 3 (a) Original image, (b) transition region provided by the proposed method, (c) transition region based on local complexity, (d) transition region based on local entropy, (e) segmentation result based on the transition region (b), (f) segmentation result based on the transition region (c), (g) segmentation result based on the transition region (d).

过渡区提取出来,对照它们的分割结果可知,基于局部复杂度与局部熵过渡区提取的结果存在着许多错分现象,相对而言,建立在本文方法过渡区提取上的分割结果能基本上有效的将待分目标分割出来(见图 1(e)和图 3(e)).另外,从表 1 中,可看出本文方法的耗时比局部复杂度稍慢,但分割的效果要好很多,比局部熵所耗的时间约少一倍.

表 1 数据 1 和数据 2 的基于不同过渡区的分割参数设置与实验数据

Table 1 The segmentation parameters set and experiments data of data 1 and data 2 based on different transition regions

方法 参数	局部模糊方差		局部复杂度		局部熵	
	数据 1	数据 2	数据 1	数据 2	数据 1	数据 2
子窗尺寸	7*7	5*5	5*5	5*5	5*5	5*5
$\alpha$	0.6	0.4	0.7	0.7	0.85	0.92
带宽 $w$	65	69	39	69	31	69
$Min(C(k))$	17.041	26.683	17.124	23.737	16.001	16.043
最优阈值	41,200	75,145	39,171	73,189	39,155, 234	35,106, 184
分类个数	3	3	3	3	4	4
运算时间(s)	20	36	14	29	34	59

从图 2 可看出,基于 OSTU 和 Sobel 梯度算子的分割效果较差,基于最大熵的方法,无法将目标分割出来.虽然区域生长可以将目标分割出来,但目标边缘出现了锯齿现象;对于场景复杂的 Lidar 影像,OSTU 和最大熵都能取得一定的效果,但注意到道路上的树木和城区建筑被分为同一类,因此存在着严重的过分现象.而区域生长法达不到抗噪的效果,基于 Sobel 梯度算子分割方法(图 4(d)),对这种数据则几乎完全失效.

## 5 结语

为了构建一种有效的分割方法,本文提出了一种基于局部模糊方差的过渡区算法并用于图像的分割.该文首先利用过渡区与目标(或背景)之间在灰度分布集中程度上的差异,利用局部模糊方差提取出图像的过渡区,然后通过一种多阈值的选择方法在过渡区上确定阈值,最后得到基于阈值的分割结果.实验结果显示此方法不需要对图像进行复杂的预处理具有良好的抗噪性,并能达到满意的分割效果.

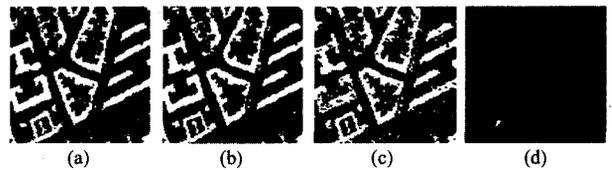


图 4 图 3(a)的基于 OSTU、最大熵、区域生长及 Sobel 梯度算子的分割结果

Fig. 4 (a) Segmentation result based on OSTU, (b) segmentation result based on maximum entropy, (c) segmentation result based on region growing, (d) segmentation result based on Sobel operator

## REFERENCES

- [1] ZHANG Tian-Xu, ZHAO Guang-Zhou, WANG Fei, et al. Fast recursive algorithm for infrared ship image segmentation [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (张天序,赵广州,王飞,等.一种快速递归红外舰船图像分割新.红外与毫米波学报), 2006, 25(4): 295—300.
- [2] LIU De-lian, ZHANG Jian-Qi. Approach of texture-based anomaly detection for remote sensing imagery [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (刘德连,张建奇.一种基于纹理分割的遥感图像目标探测算法.红外与毫米波学报), 2006, 25(3): 236—240.
- [3] SHENG Ke-Wei, ZHENG Jian-Hong. A new method for gray-level picture thresholding using the fuzzy entropy [J]. *Signal Processing*. (生克伟,郑建宏.一种新的模糊熵图像分割方法.信号处理), 1998, 14(3): 269—272.
- [4] LE Ning, LIANG Xue-Jun, WENG Shi-Xiu. The algorithm of image transition region and its improvement [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (乐宁,梁学军,翁世修.图像过渡区算法及其改进.红外与毫米波学报), 2001, 20(3): 211—214.
- [5] LIANG Xue-Jun, LE Ning. Transition region algorithm based on weighted gradient operator [J]. *Image Recognition Automat* (梁学军,乐宁.基于光强加权梯度算子的图像过渡区算法.图象识别与自动化), 2001(1): 4—7.
- [6] YAN Cheng-Xin, SANG Nong, ZHANG Tian-Xu. Local entropy-based transition region extraction and thresholding [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, 24(16): 2935—2941.
- [7] YAN Cheng-Xin, SANG Nong, ZHANG Tian-Xu. et al. Image transition region extraction and segmentation based on local complexity [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (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.红外与毫米波学报), 2005, 24(4): 312—316.
- [8] YAN Cheng-Xin, SANG Nong, ZHANG Tian-Xu. Multilevel image segmentation based on transition region extraction [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science)* (闫成新,桑农,张天序.基于过渡区提取的多阈值图像分割.华中科技大学学报(自然科学版)), 2005, 33(1): 65—67.