

文章编号:1001-9014(2005)04-0312-05

基于局部复杂度的图像过渡区提取与分割

闫成新¹, 桑农², 张天序², 曾坤²

(1. 中国石油大学机电学院, 山东 东营 257061; 2. 华中科技大学图像识别与人工智能研究所, 湖北 武汉 430074)

摘要:传统的图像过渡区提取算法基于梯度算子,算法对噪声敏感且受剪切值 L_{low} 与 L_{high} 的限制. 通过对过渡区像素属性的深入分析,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,直接提取则使算法摆脱了对 L_{low} 与 L_{high} 的依赖. 实验结果表明,局部复杂度方法优于传统的基于梯度算子的过渡区间接提取方法.

关键词:图像分割;局部复杂度;过渡区;阈值;梯度
中图分类号:TP319 **文献标识码:**A

IMAGE TRANSITION REGION EXTRACTION AND SEGMENTATION BASED ON LOCAL COMPLEXITY

YAN Cheng-Xin¹, SANG Nong², ZHANG Tian-Xu², ZENG Kun²

(1. College of Machinery and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China;
2. Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Traditional transition region extraction methods are based on gradient operator. They are sensitive to noise and restricted by L_{low} and L_{high} . By analyzing properties of transition regions, a novel local complexity based on transition region extraction method (C-TREM) was presented. C-TREM is a direct method to extract transition regions. The filtering ability of local complexity improves the ability of C-TREM to deal with noises. C-TREM depends no more on L_{low} and L_{high} . Experimental results demonstrate that C-TREM significantly outperforms the conventional gradient-based transition region extraction methods (G-TREM)

Key words: image segmentation; local complexity; transition region; threshold; gradient

引言

图像分割在计算机视觉领域起着重要的作用,分割的好坏直接影响到后续的特征提取及目标识别任务.而阈值门限法在图像分割中又是一种非常重要的方法,阈值选择的好坏将直接影响到图像分割结果的优劣.

基于过渡区提取的分割是近年来出现的一种使用阈值进行图像分割的方法. Gerbrands^[1]早在1988年就对过渡区的存在进行了阐述. Zhang 和 Gerbrands^[2]于1991年首次将过渡区提取技术应用于图像分割,算法中使用了有效平均梯度 (Effective Average Gradient) 及灰度剪切 (Clip Transformation) 技术.此后 Groenewald 等人^[3]对 Zhang 和 Gerbrands

使用的有效平均梯度与 Weszka 和 Rosenfeld^[4]的平均梯度 (Average Gradient) 进行了对比研究,证明了 Zhang 和 Gerbrands 的有效平均梯度实际上是 Weszka 和 Rosenfeld 的平均梯度的平滑形式,并由此提出了加窗的平均梯度法.为了进一步消除噪声的影响,梁学军等人^[5]提出了加权的梯度算子,指出应对梯度图像进行正态分布的加权运算,以便更好的提取过渡区.乐宁等人^[6]则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,但方法本身仍然使用 Zhang 和 Gerbrands 的有效平均梯度算子.

梯度算子在图像的边缘提取中有着极其重要的作用,但正如 Groenewald 等人^[3]所述,梯度方法既有它的优点,也有它的不足,其最大的不足之处就是

收稿日期:2004-03-08,修回日期:2005-01-21

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(60135020)

作者简介:闫成新(1969-),男,山东青州人,博士,主要研究方向为图像处理与模式识别,机电一体化技术等.

Received date: 2004-03-08, revised date: 2005-01-21

对噪声的敏感. 前述文献本质上都是基于梯度算子的过渡区提取方法, 过渡区的提取较易受噪声的影响. 本文提出一种基于局部复杂度的过渡区直接提取算法, 不仅在一定程度上消除了噪声对过渡区提取的影响, 而且使算法摆脱了对灰度剪切值的依赖, 使过渡区很好的分布在目标周围. 实验结果证明了本方法的抗噪性及有效性.

1 基于梯度的过渡区间提取算法

典型的基于梯度的过渡区间提取算法使用了有效平均梯度及对灰度的剪切. 令 $f(i, j)$ 为一幅图像的灰度分布函数, $(i, j) \in S$, S 为表示像素空间坐标的整数集合. 令 $g(i, j)$ 为图像的梯度, 则有效平均梯度定义为

$$EAG = \frac{TG}{TP}, \quad (1)$$

其中

$$TG = \sum_{i,j \in S} g(i, j), \quad (2)$$

为总梯度和,

$$TP = \sum_{g(i,j) \neq 0} 1. \quad (3)$$

为梯度不为 0 的总像素数. Zhang^[2] 使用了上述有效平均梯度, 并使用了如下定义的灰度剪切变换函数

$$\text{高端剪切函数 } f^L(i, j) = \begin{cases} L, & \text{if } f(i, j) \geq L \\ f(i, j), & \text{if } f(i, j) < L \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{低端剪切函数 } f_L(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & \text{if } f(i, j) > L \\ L, & \text{if } f(i, j) \leq L \end{cases} \quad (5)$$

对剪切变换后的图像计算其有效平均梯度, 得到 2 种剪切下 $EAG(L) \sim L$ 的曲线, 即可由曲线峰值得到决定过渡区的 2 个灰度值 L_{low} 与 L_{high} , 由此提取过渡区并进一步得到分割门限.

梁学军等人^[5]、乐宁等人^[6] 分别对 Zhang 和 Gerbrands^[2] 的过渡区提取算法进行了改进, 梁学军等人引入了加权的梯度算子, 在一定程度上抑制了随机噪声, 使 $EAG(L) \sim L$ 变得平滑. 乐宁等人则对原始图像进行一元线性拟合, 减少了图像中噪声对 $EAG(L) \sim L$ 曲线的影响, 使 L_{low} 与 L_{high} 更易于提取.

上述算法本质上都是基于梯度的过渡区提取, 而且都是间接提取算法. 间接提取算法的缺点在于过渡区的提取直接依赖于 L_{low} 、 L_{high} 的取值, 如果得不到 L_{low} 与 L_{high} 将导致过渡区无法提取, 后续分割将无法进行. 梯度算子对噪声的敏感会导致 L_{low} 与 L_{high} 的偏移, 甚至会出现 $L_{\text{low}} = 0$ 、 $L_{\text{high}} = 255$ 的极端情况. Groenewald 等人^[3] 证明了在实际图像中存在 $L_{\text{low}} >$

L_{high} 的可能, 这些都将导致过渡区的偏移甚至无法提取.

为了减少噪声对过渡区提取的影响, 并使算法摆脱对 L_{low} 与 L_{high} 的依赖, 通过对过渡区像素灰度分布属性的深入分析, 我们提出了基于局部复杂度的过渡区直接提取算法.

2 基于局部复杂度的过渡区直接提取算法

2.1 过渡区的特点

过渡区是介于目标与背景之间的区域, 一般具有如下特点:

(1) 具有一定宽度. 无论是缓变型边缘还是阶跃型边缘其附近都存在过渡区^[1], 缓变边缘附近过渡区具有一定宽度, 阶跃边缘过渡区至少有一个像素宽度, 而且由于实际图像存在的模糊及采样误差, 即使阶跃型边缘也会存在有限宽度的过渡区;

(2) 过渡区灰度一般介于目标灰度与背景灰度之间^[2];

(3) 过渡区应分布在目标周围;

(4) 过渡区灰度变化频繁. 过渡区是一幅图像中灰度等级层次分布较多的区域, 因此它包含的信息量也最丰富. 梯度算子只能描述过渡区灰度突变的信息, 而不能体现灰度层次较多这一特点, 来看下面的例子. 如图 1 所示的两个局部邻域, 尽管邻域 (a) 的梯度峰值要小于邻域 (b), 但邻域 (a) 的灰度层次却显然比邻域 (b) 要丰富得多. 若把梯度算子作用于邻域 (a), 也只能体现出梯度的变化, 而不能体现灰度级别变化包含的丰富信息, 因此, 梯度算子并不是衡量过渡区像素属性的最佳测度参数.

基于上述对过渡区特点的分析, 我们构造了下面的局部复杂度测度参数用于过渡区的提取.

2.2 局部复杂度

令 $f(i, j)$ 为一幅图像的灰度分布函数, $(i, j) \in S$, S 为表示像素空间坐标的整数集合. 图像大小为 $M \times N$, 具有 256 个灰度级, 则图像的直方图可表示为

$$h(l) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \delta(l - f(i, j)). \quad (6)$$

其中, $l \in \{0, 1, \dots, 255\}$ 为灰度等级, $\delta(\cdot)$ 为单位冲击

| | | | | | |
|-----|---|---|-----|---|---|
| 1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 7 |
| 3 | 5 | 3 | 1 | 7 | 3 |
| 6 | 3 | 2 | 7 | 3 | 1 |
| (a) | | | (b) | | |

图 1 不同邻域的灰度层次信息

Fig. 1 Grayscale variance on different neighborhood

函数.

为了在统计灰度级别变化时避免将相同灰度的像素重复计数,定义如下标志函数

$$s_l(h(l)) = \begin{cases} 1, & h(l) \neq 0 \\ 0, & h(l) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

其中, $h(l)$ 由式(6)计算.

由此定义灰度复杂度为

$$C = \sum_{l=0}^{255} S_l. \quad (8)$$

式(8)定义的复杂度实际上是对图像范围内灰度级别变化的一种统计. 该定义用于整幅图像尤其是大尺寸灰度图像其统计意义并不大,我们将其用于统计图像的局部邻域信息.

取 Ω_k 为图像中以某像素 k 为中心的邻域,邻域尺寸大小为 $M_k \times N_k$,则同样可使用式(8)计算邻域 Ω_k 的复杂度,即

$$C_k(\Omega_k) = \sum_{l=0}^{255} S_l. \quad (9)$$

分析式(9)局部复杂度的定义可知:

(1) 当邻域 Ω_k 内灰度级别较多时,该邻域的复杂度较大,最大值为 $M_k \times N_k$. 当邻域内各像素灰度值相等时,复杂度最小为 1;

(2) 复杂度越大,表明该邻域内灰度分布层次越多,同质性越差,越接近过渡区;

(3) 孤立的噪声点尽管会引起梯度的局部突变,但对局部复杂度的影响却较小(复杂度记录的是灰度级别的不同,与灰度幅值无关),因此局部复杂度本身具有一定的滤波作用.

针对上述局部复杂度的特点,我们可以把该邻域的局部复杂度赋值给像素 k ,然后在整幅图像上移动窗口 Ω_k (一般使用固定尺寸窗口,且 $M_k = N_k$),由此可得到变换后的复杂度图像. 在复杂度图像中,过渡区像素由于同质性差,灰度层次丰富,将具有较高的复杂度值,而目标内部与背景内部像素同质性好,具有较低的复杂度值. 由此可以设定合适的复杂度门限,将大于该门限的像素提取出来,就可以得到原图像的过渡区.

得到过渡区以后,就可以根据过渡区直方图的峰值或均值得到最终分割门限^[2].

2.3 基于局部复杂度的过渡区提取算法步骤

基于局部复杂度的过渡区提取算法步骤可概括如下:

- (1) 设定邻域窗尺寸及局部复杂度门限值;
- (2) 由式(9)计算局部复杂度;

(3) 根据门限值提取过渡区;

(4) 根据过渡区灰度直方图得到分割门限;

(5) 根据阈值分割图像.

邻域窗的尺寸选择不宜过小或过大. 尺寸过小,则窗口内像素数太少,不能反映窗口内的局部灰度变化信息,尺寸过大,则会导致过渡区复杂度趋同. 因此邻域窗的尺寸一般取大小进行计算.

得到复杂度图像后,即可设定复杂度阈值,提取过渡区. 阈值复杂度可由下式计算

$$E_T = \alpha C_k(\Omega_k)_{\max}. \quad (10)$$

其中, $C_k(\Omega_k)_{\max}$ 为复杂度图像的最大值. α 为 0 到 1 之间的系数,它决定了过渡区像素数的多少. 为了既保证提取出的过渡区具有一定的像素数,同时又不致于使过渡区像素过多,一般取 $0.6 < \alpha < 1$.

3 对比实验

3.1 实际红外图像分割实验

使用本文提出的方法,以实际红外图像为例进行了过渡区提取与分割实验. 为了说明本方法的过渡区提取与分割效果,我们与前述的加权梯度法(W-EAG)进行了对比. 图 2(a) 为原始电厂红外图像. 图 2(b) 和图 2(c) 分别为加权梯度法提取的过渡区及分割结果. 从图 2(b) 看到,加权梯度法提取的过渡区范围很小,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被提取出来. 进一步分析我们发现,提取出的过渡区实际是图像中亮度反差最大的地方,也就是梯度值最大的地方,这是由梯度法方法本身所造成的. 过渡区提取的不准确导致了图 2(c) 的分割结果很不理想. 图 2(d) 为使用本文方法提取的过渡区,从图中看到,过渡区被完整地提取出来,而且精确的分布在目标周围. 由于过渡区的提取准确,图 2(f) 的分割结果明显优于图 2(c) 的加权梯度法的分割结果.

3.2 人工合成图像分割实验

为检验本文算法的抗噪声情况,使用人工合成图像进行了下面的抗噪性能评价实验. 基于过渡区提取的分割算法本质上属于阈值化分割方法,因此使用阈值分割方法中常用的 2 种算法类间方差法(Otsu)、最大熵方法以及前述的加权梯度法(W-EAG)及本文方法(C-TREM)共 4 种方法进行对比实验.

实验以 160×120 大小的可见光飞机图像及其合成图像为例进行,共分两组,一组进行椒盐噪声对比实验(见图 3a),噪声水平为椒盐噪声的粒度. 另一组进行高斯噪声图像分割对比实验(见图 3b),噪

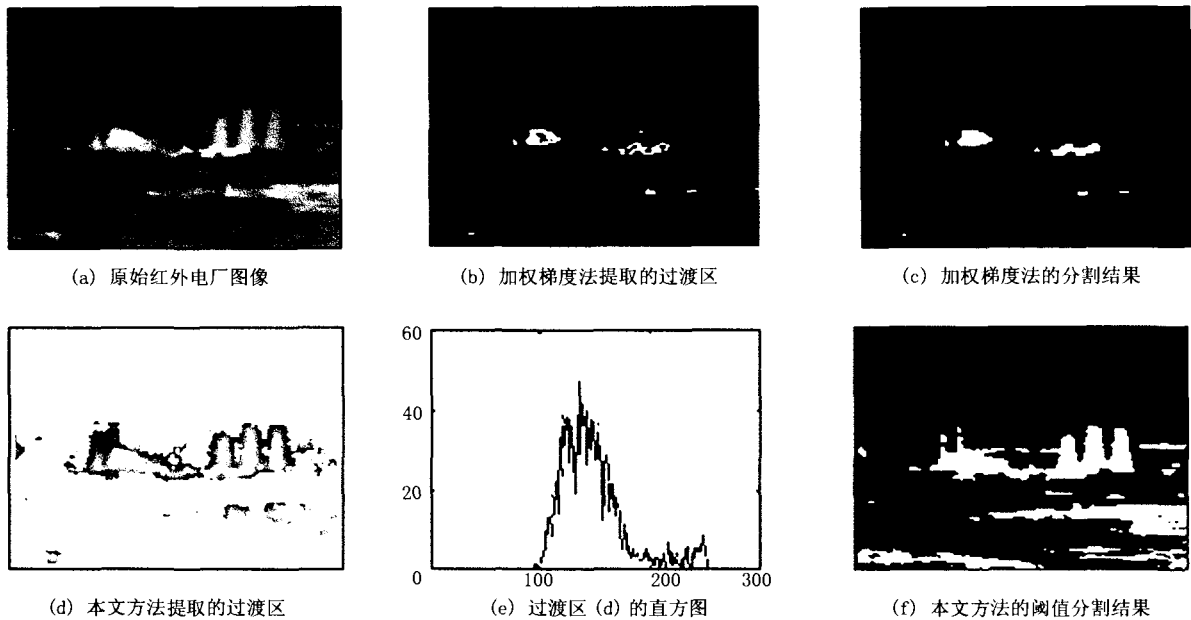


图2 红外图像的过渡区提取与分割

Fig. 2 Transition region extraction and segmentation on infrared image

(a) original power station infrared image (b) transition region extracted by W-EAG (c) segmentation by W-EAG (d) transition region extracted by our method (e) histogram of transition region (f) segmentation based on our method

声水平为高斯噪声的标准方差. 每组实验中第一列为未分割图像, 第二到第五列分别为类间方差法 (OTSU)、局部复杂度方法 (C-TREM)、加权梯度法 (W-EAG)、最大熵法的分割结果. 每组实验中第一行为原始未加噪声图像及其分割结果, 第二到第八行为噪声图像及其分割结果, 从上到下噪声水平依次增加. 每组中第一列图像下面的数字为其噪声水平, 第二到第五列图像下面的数字代表该方法得到的分割阈值. 由图 3 的实验结果可以看出:

(1) 对于含椒盐噪声的合成图像, 本文算法具有较好的抗噪性能. 由图 3(a) 可以看出, OTSU 方法在噪声水平为 0.1 时已得不到分割目标; W-EAG 方法基于梯度算子, 分割结果非常不稳定, 且分割效果较差; 最大熵方法把较多的背景分成了目标, 在噪声较重时尤为明显; 本文的局部复杂度方法在噪声水平为 0.5 时仍能较完整地分割出来, 而且在不同的噪声水平上阈值相对比较稳定, 保证了分割结果的稳定性.

(2) 对含高斯噪声的合成图像, 本文方法具有较大局限性. 由图 3(b) 可以看出, 在较低的噪声水平上, 本文方法、最大熵法都可以将目标分割出来, OTSU 方法与 W-EAG 方法的分割结果略差. 随着噪声水平的增加, 本文方法逐渐失效, 但与此同时, 其

他 3 种阈值分割方法的分割效果也依次下降.

(3) 在噪声水平为 0 时, 本文算法的分割效果优于传统的 OTSU、W-EAG 方法, 最大熵方法与本文方法的分割效果相近, 但有背景像素被错分的情况, 且随噪声水平的增加愈加严重.

3.3 算法复杂度分析与实验

使用本文提出的算法, 对不同尺寸的同—图像进行了运算复杂度对比试验, 对比算法仍使用 3.2 节的 4 种算法, 对比结果见表 1. 从表中数据可以看到, 尽管本文方法比 OTSU 和最大熵方法的速度要慢, 但同样作为过渡区提取与分割算法, 该算法比传统的 W-EAG 方法速度要快很多.

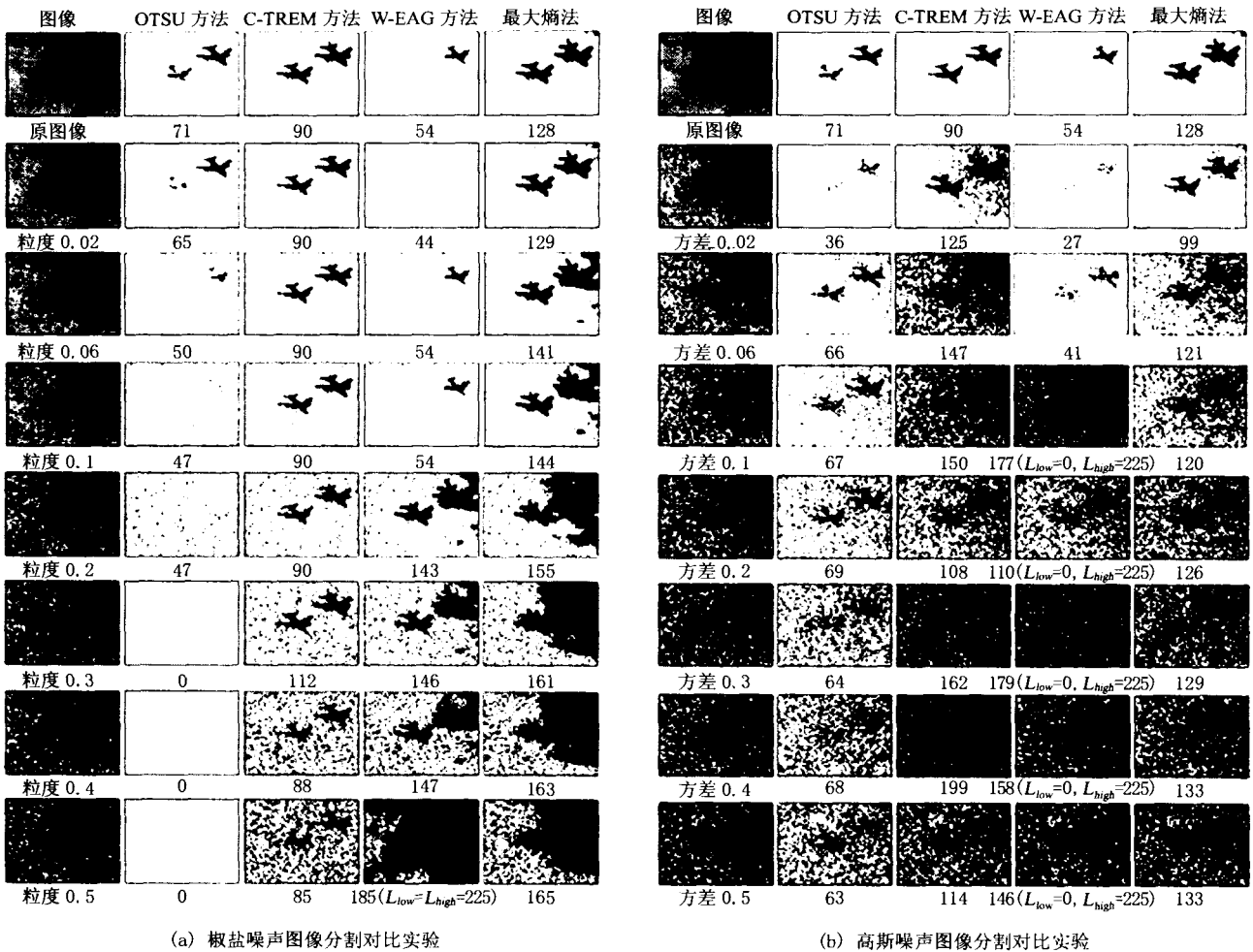
4 结语

基于过渡区提取的阈值分割是近年来发展起来

表 1 运算复杂度对比实验 (s)

Table 1 Computation speed of four algorithms (seconds)

| 算法 | 图像大小(像素数) | | | | | |
|--------|-----------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | 40×30 | 80×60 | 120×90 | 160×120 | 200×150 | 240×180 |
| W-EAG | 1.2170 | 2.3180 | 4.9280 | 8.7970 | 13.4640 | 19.6360 |
| C-TREM | 0.3820 | 0.7640 | 1.4210 | 2.4250 | 3.5100 | 5.7470 |
| OTSU | 0.0520 | 0.0600 | 0.0710 | 0.0810 | 0.0900 | 0.1010 |
| 最大熵 | 0.2200 | 0.2320 | 0.2410 | 0.2600 | 0.2670 | 0.2800 |



(a) 椒盐噪声图像分割对比实验

(b) 高斯噪声图像分割对比实验

图 3 四种阈值化方法的分割对比实验

(a) 椒盐噪声图像分割对比实验 (b) 高斯噪声图像分割对比实验

Fig. 3 Segmentation experiments of four thresholding methods

(a) Salt & pepper noisy image segmentation (b) Gaussian noisy image segmentation

的一个图像分割新方向, 过渡区提取是这一方法中的一个核心环节. 传统的过渡区提取算法基于梯度运算, 且过分依赖于灰度剪切值 L_{low} 与 L_{high} . 本文构造局部复杂度测度用于过渡区的直接提取, 保证了分割的顺利进行. 实验研究表明, 本算法优于传统的过渡区提取与分割算法, 且与传统的几种阈值分割算法相比表现出良好的分割性能, 是一种有效的过渡区提取与分割算法.

本算法对于高斯噪声图像的分割有较大局限性. 另外, 算法中的复杂度阈值依赖于参数的选取, 如何在给定的范围内选取最佳的 α 值也是一个值得继续研究的课题.

REFERENCES

[1] Gerbrands J J. Segmentation of noise images [D]. Ph. D.

dissertation, Delft University. The Netherlands, 1988.
 [2] Zhang Y J, Gerbrands J J. Transition region determination based thresholding [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1991, 12(1): 13—23.
 [3] Groenewald A M, Barnard E, Botha. E C. Related approaches to gradient-based thresholding [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1993, 14(7): 567—572.
 [4] Weszka J S, Rosenfeld A. Histogram modification for threshold selection [J]. *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet.*, 1979, 9(1): 38—52.
 [5] LIANG Xue-Jun, LE Ning. Transition region algorithm based on weighted gradient operator [J]. *Image Recognition and Automatization* (梁学军, 乐宁. 基于光强加权梯度算子的图像过渡区算法. *图像识别与自动化*), 2001(1): 4—7.
 [6] 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.