

# 基于模糊集的图像增强算法研究<sup>1</sup>

周德龙 赵志国\* 潘泉 张洪才

(西北工业大学自动控制系 西安 710072)

\*(洛阳师范学院 洛阳 471022)

**摘 要** 该文通过定义新的隶属函数形式提出了一种自动图像增强的方法,该方法将图像转化为等效的图像模糊特征平面,在此基础上进行模糊增强,最后再转换为空域图像;模糊增强提高了低灰度区域和高灰度区域之间的对比度,从而使增强后图像的效果更好;最后对具有多峰直方图分布图像的模糊增强方法进行了推广。

**关键词** 图像增强,隶属函数,渡越点,模糊特征

**中图分类号** TN911.73

## 1 引 言

在图像处理中,图像增强是图像预处理中最常用的技术之一,图像增强技术对于提高图像质量起着重要的作用。所谓图像增强,就是指对图像的某些特征,如边缘、轮廓、对比度等进行强调或尖锐化,以便于显示、观察或进一步地分析与处理。增强将不增加图像数据中的相关信息,但它将增加所选择特征的动态范围,从而使这些特征检测或识别更加容易。

近年来,人们对基于模糊的图像处理技术也进行了研究,模糊集合理论能够成功地应用于图像处理领域,并表现出优于传统方法的处理效果,其根本原因在于:图像所具有的不确定性往往是由模糊性引起的<sup>[1,2]</sup>。图像增强的模糊方法,有些类似于空域处理方法,它是在图像的模糊特征域上修改像素的<sup>[3]</sup>。基于模糊的图像处理技术是一种值得重视的研究方向,应用模糊方法往往能取得优于传统方法的处理效果。在本文中,我们提出一种图像自动模糊增强算法,该方法对具有双峰和多峰分布直方图的图像均能进行有效增强处理。

## 2 模糊特征平面

从模糊集的概念来看,一幅具有  $L$  个灰度级的  $M \times N$  元图像,可以看作作为一个模糊集,集内的每一个元素具有相对于某个特定灰度级的隶属函数。该模糊集称为图像等效模糊集,亦即图像的模糊特征平面,对应的模糊矩阵记为  $I$ ,有

$$I = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \frac{\mu_{mn}}{X_{mn}} \quad (1)$$

式中  $\mu_{mn} \in [0, 1]$  表示像素  $(m, n)$  灰度级  $X_{mn}$  相对于某个特定灰度级  $X_K$  的隶属函数。

## 3 自动图像增强方法

### 3.1 算法实现

首先采用图像分割中的阈值选取方法(本文中采用 Otsu<sup>[4]</sup>方法)确定阈值参数  $X_T$ ,显然,  $X_T$  将整个图像的直方图分为两个部分,低灰度部分和高灰度部分,对于具有典型双峰分布的直方图来说,它们分别对应目标和背景这两部分。然后定义新的隶属函数形式,再进行模糊增

<sup>1</sup> 2000-09-01 收到, 2000-12-20 定稿

强运算, 在低灰度区域进行衰减运算从而使属于该区域的像素的灰度值更低, 而在高灰度区域则进行增强运算从而使属于该区域的像素的灰度值更高. 因而, 经过模糊增强后直方图上阈值  $X_T$  两侧的灰度对比增强, 图像的区域之间层次将更加清楚.

整个算法过程如下: 首先根据 Otsu 选取阈值的方法确定阈值参数  $X_T$ . 显然对于双峰分布的直方图阈值参数  $X_T$  将位于双峰之间的谷底附近; 而对于多峰直方图的多阈值选取也可用 Otsu 方法来实现 (见文献 [4]), 也可用其它许多方法来实现 [5,6] 多阈值的选取, 这多个阈值显然应在各峰之间的谷底附近. 然后定义新的隶属函数为

$$\mu_{mn} = G(X_{mn}) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left( \frac{X_{mn}}{X_T} \right)^2, & X_{mn} \leq X_T \\ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{X_{\max} - X_{mn}}{X_{\max} - X_T} \right)^2, & X_{mn} > X_T \end{cases} \quad (2)$$

其中  $X_{\max}$  为图像的最大灰度级,  $m = 1, 2, \dots, M$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ .

再对图像进行模糊增强. 模糊增强是在图像的模糊特征平面上对  $\mu_{mn}$  进行非线性变换, 其结果是增大 (当  $\mu_{mn} > 0.5$ ) 或减小 (当  $\mu_{mn} \leq 0.5$ )  $\mu_{mn}$  的值. 我们选用如下增强算子:

$$\mu'_{mn} = T_r(\mu_{mn}) = T_1(T_{r-1}(\mu_{mn})), \quad r = 1, 2, \dots \quad (3)$$

其中

$$T_1(\mu_{mn}) = \begin{cases} 2(\mu_{mn})^2, & 0 \leq \mu_{mn} \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_{mn})^2, & 0.5 < \mu_{mn} \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

最后一步是对已增强的模糊特征 ( $\mu'_{mn}$ ) 进行  $G^{-1}$  逆变换, 得到已增强的空域图像. 其逆变换 ( $G^{-1}$ ) 方式我们规定为

$$X'_{mn} = \begin{cases} \sqrt{2\mu'_{mn}} X_T, & X_{mn} \leq X_T \\ X_{\max} - \sqrt{2(1 - \mu'_{mn})} (X_{\max} - X_T), & X_{mn} > X_T \end{cases} \quad (5)$$

### 3.2 仿真分析

当  $\mu_{mn} = G(X_c) = 0.5$  时, 我们称  $X_c$  为渡越点, 显然本文渡越点在  $X_T$  处.  $\mu_{mn}$  和  $X_{mn}$  的关系曲线如图 1 所示,  $\mu_{mn}$  的取值范围为  $[0, 1]$ , 模糊增强算子  $T_r(\cdot)$  的变换关系见图 2 所示.

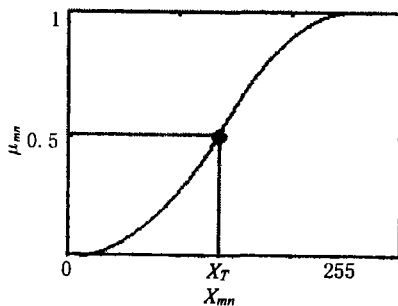


图 1  $\mu_{mn}$  和  $X_{mn}$  的关系曲线

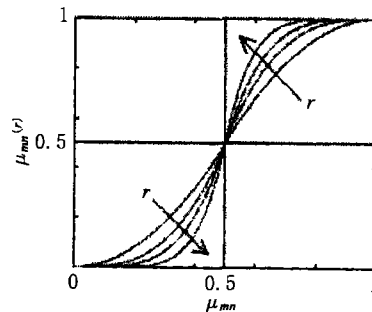


图 2  $T_r(\cdot)$  变换

根据图 1、图 2 可知, 对于  $\mu_{mn} > 0.5$  的区域, 即高灰度区域的像素进行增强运算; 对于  $\mu_{mn} < 0.5$  的区域, 即低灰度区域的像素进行衰减运算. 因此本文算法实现了对低灰度区域的像素进行衰减运算和对高灰度区域的像素进行增强运算, 从而使图像增强后的区域之间层次更清楚.

#### 4 多阈值图像模糊增强方法

现在将本文方法推广到直方图分布有不止一个谷点 (亦即有多于两个的峰点) 图像的增强问题. 显然此时所选择的阈值多于一个, 各阈值将分别对应于直方图上谷点的位置. 假设所得  $n$  个阈值为  $X_T^{(1)}, X_T^{(2)}, \dots, X_T^{(n)}$ , 则这  $n$  个阈值将直方图分为  $n+1$  个不同的区域. 设这  $n+1$  个不同的区域的中点分别为  $X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1}$ , 则由这  $n+1$  个中点之间所组成的  $n$  个区间为  $[X_1, X_2], [X_2, X_3], \dots, [X_n, X_{n+1}]$ , 再将第一个和最后一个区间分别扩张到最小灰度级 0 和最大灰度级  $X_{\max}$  为止, 由此得到这  $n$  个不同的区间  $[0, X_2], [X_2, X_3], \dots, [X_{n-1}, X_n], [X_n, X_{\max}]$ , 我们在这  $n$  个不同的区间上采用本文前面的算法分别进行模糊增强运算, 在此我们对 (2) 式的隶属函数形式稍作修改.

$$\mu_{mn}^{(i)} + G(X_{mn}) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left( \frac{X_{mn} - X_{\min}^{(i)}}{X_T^{(i)} - X_{\min}^{(i)}} \right)^2, & X_{\min}^{(i)} \leq X_{mn} \leq X_T^{(i)} \\ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{X_{\max}^{(i)} - X_{mn}}{X_{\max}^{(i)} - X_T^{(i)}} \right)^2, & X_T^{(i)} < X_{mn} \leq X_{\max}^{(i)} \end{cases} \quad (6)$$

其中  $X_{\min}^{(i)}, X_{\max}^{(i)}$  分别为图像直方图上第  $i$  个区间中的最小、最大灰度级,  $X_T^{(i)}$  为第  $i$  个阈值, 也是第  $i$  个区间上的渡越点.

相应的逆变换为

$$X'_{mn} = \begin{cases} X_{\min}^{(i)} + \sqrt{2\mu_{mn}^{(i)}}(X_T^{(i)} - X_{\min}^{(i)}), & X_{\min}^{(i)} \leq X_{mn} \leq X_T^{(i)} \\ X_{\max}^{(i)} - \sqrt{2(1 - \mu_{mn}^{(i)})}(X_{\max}^{(i)} - X_T^{(i)}), & X_T^{(i)} < X_{mn} \leq X_{\max}^{(i)} \end{cases} \quad (7)$$

多阈值图像的隶属函数曲线形式和其相应的区间如图 3 所示. 显然, 随着增强次数的增加, 这  $n$  个不同区域的灰度将逐渐分别趋向  $0, X_2, \dots, X_n, X_{\max}$ , 这  $n$  个不同的灰度值.

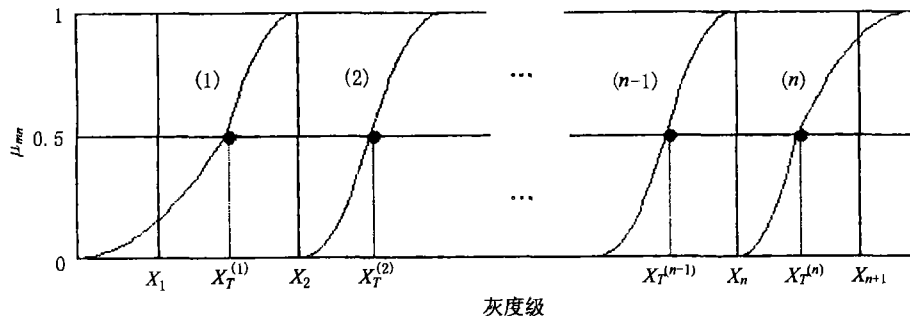


图 3 多阈值图像隶属函数曲线

## 5 仿真结果与结论

我们采用 Matlab 软件在 Pentium II 处理器, 64M 内存的微机上对具有双峰分布直方图的红外图 House 和具有多峰分布直方图的 Alumgrns 图 (均为 256X256X8) 进行了仿真实验。结果见图 4, 图 5(图中增强次数  $r$  分别取为 2, 4 和 8), 仿真计算所用时间如表 1 所示。由仿真图可知, 采用本文算法的增强效果非常明显。对于迭代次数  $r$  的选择, 仿真结果表明, 当  $r$  较小时模糊增强不够充分; 随着  $r$  的逐渐加大图像的增强效果会越来越明显, 当  $r$  达到一定程度时图像中局部细节会逐渐消失而变为二值图像。表 1 表明增强次数 ( $R=2, 4$  和 8) 对计算时间的影响不大, 而多阈值增强将比单阈值增强耗费更多的时间。

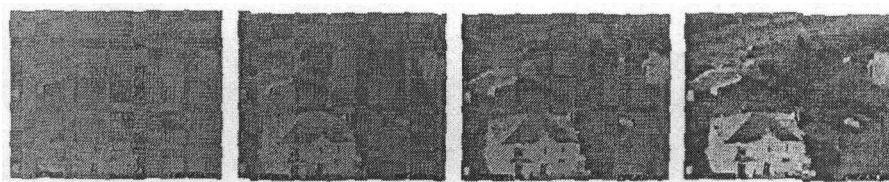


图 4 House 原图和增强图



图 5 Alumgrns 原图和增强图

表 1 不同增强次数时, 单阈值增强和多阈值增强耗费时间

方法	增强次数		
	$r=2$	$r=4$	$r=8$
单阈值增强用时 (s)	13.12	13.46	13.51
多阈值增强用时 (s)	30.59	30.81	31.03

本文从模糊集的角度出发将图像转化为等效的图像模糊特征平面, 在此基础上进行模糊增强, 最后再转换为空域图像。采用该方法可以提高低灰度区域和高灰度区域之间的对比度, 从而提高了图像的质量; 本文方法不仅能适用于具有双峰直方图分布图像的模糊增强, 而且对具有多峰直方图分布图像的模糊增强方法也进行了推广。

## 参 考 文 献

- [1] 郭桂容, 模糊模式识别, 长沙, 国防科技大学出版社, 1993, 148-159.
- [2] 郭宗祥, 模糊信息处理基础, 成都, 成都电讯工程学院出版社, 1989, 第三章.
- [3] S. K. Pal, R. A. King, Image enhancement using smoothing with fuzzy sets, IEEE Trans. on Sys., Man, Cybernet., 1981, 11(7), 494-501.
- [4] N. Otsu, A threshold selection method from gray level histograms, IEEE Trans. on Sys. Man Cybernet, 1979, 9, 62-66.

- [5] P. K. Sahoo, S. Soltanti, A. K. C. Wong, Y. C. Chen, A survey of the thresholding techniques. *Comp. Vision Graphics Image Process*, 1988, 41(2), 233-260.
- [6] N. R. Pal, S. K. Pal, A review of image segmentation techniques, *Pattern Recognition*, 1993, 26(9), 1277-1294.

## AN IMAGE ENHANCEMENT ALGORITHM BASED ON FUZZY SETS

Zhou Delong    Zhao Zhiguo\*    Pan Quan    Zhang Hongcai

*(Dept. of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)*

*\*(Luoyang Normal Lollega, Luoyang 471022, China)*

**Abstract** In this paper, an automatic algorithm of image enhancement based on fuzzy sets is proposed by defining a new membership function. This algorithm is performed through extracting the fuzzy property plane from the spatial domain firstly, executing the fuzzy enhancement, and obtaining the modified spatial domain image finally. In order to get much better quality of the image the contrast among the regions is increased using the fuzzy enhancement. This algorithm is also extended to the enhancement of the multi-threshold image.

**Key words** Image enhancement, Membership function, Crossover point, Fuzzy property domain

周德龙: 男, 1966 年生, 博士生, 研究方向为图像处理、模式识别等.

赵志国: 男, 1965 年生, 讲师, 主要研究方向为图像处理等.

潘 泉: 男, 1961 年生, 博士、教授, 博士生导师, 现任西北工业大学研究生院副院长, 主要研究方向有动态系统的建模、估计与控制, 智能控制与智能信息处理, 信息融合, C<sup>3</sup>I, 图像与信号处理等.

张洪才: 男, 1938 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向有非线性估计与控制、系统辨识、故障诊断与容错控制、目标跟踪、模式识别等.