

DOI:10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2018.5.04

# 一种模糊图像增强算法

张超超, 王新民\*

(长春工业大学 数学与统计学院, 吉林 长春 130012)

**摘要:** 为克服 Pal 算法收敛速度慢、局部最优等问题, 结合实例改进了 Pal 算法, 并求解图像增强问题以增强边缘保护性能。

**关键词:** 模糊集合; 图像增强; 增强算法; 自适应

**中图分类号:** TP 391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2018)05-0441-05

## An image enhancement algorithm based on fuzzy theory

ZHANG Chaochao, WANG Xinmin\*

(School of Mathematics and Statistics, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

**Abstract:** To improve the convergence rate of the traditional Pal algorithm and local optimum, we update the Pal algorithm with examples to enhance the edge protection ability.

**Key words:** fuzzy set; image enhancement; enhancement algorithm; adaptive.

## 0 引言

图像增强是图像处理领域的一个重要分支, 图像增强的求解对于实际问题有着重要的现实意义。目前, 国内外研究学者在图像增强领域发现了一些方法, 其中一些模糊理论的方法在图像增强处理中得到成功的应用。Pal 和 King<sup>[1]</sup> 在 20 世纪 80 年代首次提出了一种图像增强算法, 并在模式识别和医疗图像处理等领域获得较好的应用。文中通过对比自适应直方图均衡化、传统的 Pal 以及改进的 Pal 三种算法, 找到在图像增强的边缘保护性方面表现良好的算法, 避免了传统的 Pal 算法容易陷于局部最优的问题, 最后通过计

算实例来验证算法的有效性。

## 1 模糊理论

Zadeh<sup>[2]</sup> 于 1965 年首次提出了模糊理论的思想, 并给出了模糊集合的定义。模糊理论是一种模糊集合, 与经典集合不同, 它是一种没有精确边界的集合, 可以对普遍存在的数学问题进行建模。模糊集合表示的是元素属于集合的程度, 模糊集合特征函数的取值范围在闭区间 $[0, 1]$ 内, 这样就可以清楚地表示某元素属于一种集合的程度。在模糊集合中论域为  $W$ ,  $A$  是  $W$  中的模糊子集, 隶属度函数  $\beta_A$  是模糊子集  $A$  的表征集合。

收稿日期: 2018-07-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61503150); 吉林省教育厅科学技术项目([2015]111 号)

作者简介: 张超超(1991—), 男, 汉族, 山东滕州人, 长春工业大学硕士研究生, 主要从事计算智能与数据挖掘方向研究, E-mail: tjcczcc@163.com. \* 通讯作者: 王新民(1957—), 男, 汉族, 山东牟平人, 长春工业大学教授, 博士生导师, 主要从事大数据分析 and 环境系统随机模型正反问题的数值研究, E-mail: wxm@jlu.edu.cn.

## 2 Pal 图像模糊增强算法基本过程

基于 Pal 算法的基本架构和模糊理论的基本思想来实现灰度图像的增强过程,下面具体描述 Pal 图像模糊增强算法。

### 2.1 算法增强步骤

1) 将图像从空间域的灰度平面转换到模糊集域的特征平面上(即模糊化操作);

2) 完成编码后,适当的修正模糊集域的隶属度值;

3) 利用模糊逆变换将特征数据变换回图像的空间域,从而完成解码。

由于 2)(即修正隶属度值)是图像模糊增强处理过程的重要步骤,一般常用的修正方法如模糊聚类、模糊规则、模糊增强算子以及综合的模糊增强方法等<sup>[3-10]</sup>。

### 2.2 Pal 增强算法

根据以上模糊理论的相关概念,定义一个大小为  $M \times N$ ,灰度为  $L$  的图像  $S$ ,将其表示为一个  $M \times N$  的模糊矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \dots & \mu_{1N} \\ x_{11} & & x_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{M1} & \dots & \mu_{MN} \\ x_{M1} & & x_{MN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

或

$$S = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N \frac{\mu_{ij}}{x_{ij}} \quad (2)$$

式中  $\mu_{ij}/x_{ij}$  的比值表示的是图像中像素点  $(i, j)$  的灰度级  $x_{ij}$  相对于特定灰度级  $x$  的隶属度值,这个过程是求模糊分布。在传统 Pal 算法中,设定的隶属度函数如下:

$$\mu_{ij} = T(x_{ij}) = \left[ 1 + \frac{(L-1) - x_{ij}}{F_d} \right]^{-F_e} \quad (3)$$

式(3)中  $F_d$  和  $F_e$  称为模糊变换参数,通常选取  $F_e=2$ ,渡越点  $x_c$  用来确定  $F_d$  的值,  $x_c$  的取值一般比图像灰度的均值还要小二分之一,  $T(x_c)=0.5$ 。模糊增强算子定义如下( $r$  为迭代次数):

$$\mu'_{ij} = I_r(\mu_{ij}) = I_1(I_{r-1}(\mu_{ij})) \quad (4)$$

$$I_r(\mu_{ij}) = \begin{cases} 2(\mu_{ij})^2, & 0 \leq \mu_{ij} \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_{ij})^2, & 0.5 < \mu_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

传统 Pal 算法作为近年来研究图像处理问题

的一种算法,虽然存在着自身的一些优势,但在实际求解过程中还存在着许多不足,主要是收敛速度慢,容易造成部分信息丢失和陷入局部最优的问题。由此可以看出,如果找到一种简单、准确、有效的算法,那么对于解决这些图像增强问题将有着非常重要的现实意义。

## 3 改进的 Pal 图像模糊增强算法

针对传统 Pal 算法在处理图像增强问题时存在容易陷于局部最优和收敛速度慢的问题,对传统 Pal 算法进行了改进,从而可以更好地兼顾增强图像的全局性和收敛性,提高算法整体增强性能。同时也为优化图像增强模型提供良好的基础。

文中方法(改进的 Pal 增强算法)是在传统 Pal 算法的理论基础上提出的,为有效改进传统 Pal 算法的不足,故对隶属度函数(3)进行了修改,定义新的隶属度函数为:

$$\mu_{ij} = T(x_{ij}) = \left[ \frac{\pi}{3} + \frac{(L-1) - x_{ij}}{F_d} \right]^{-F_e} \quad (6)$$

然后对式(5)中的模糊增强算子进行了改进,定义新的模糊增强算子为:

$$I_r(\mu_{ij}) = \begin{cases} k(\mu_{ij})^2, & 0 < \mu_{ij} \leq 0.5 \\ 1 - k(1 - \mu_{ij})^2, & 0.5 < \mu_{ij} < 1 \end{cases} \quad (7)$$

其中:

$$k = \frac{1}{\mu_{ij}(1 - \mu_{ij})} \quad (8)$$

从式(7)可以看出,该计算式有效减小了小于 0.5 的  $\mu_{ij}$  值,同时也增大了大于 0.5 的  $\mu_{ij}$  值,从而达到增强对比度,提高均方根误差的目的,整个函数的表达有利于增强图像对比度,并且保护图像边缘细节信息。因此,改进的模糊增强算法在这两方面的表现都要优于传统 Pal 算法,能够在一定程度上避免增强图像硬切削的问题,从而有效改进了传统 Pal 算法收敛速度慢和容易陷于局部最优的问题。

## 4 实验结果及分析

将文中改进算法应用于 Lena 的灰度图像进行图像增强处理,并对同一灰度图像进行了 3 种不同算法的实验,从而可以验证该算法的改进性能。实验所使用的计算机基本信息为: Windows7, 64 位操作系统,软件平台为

MATLAB 2016b。

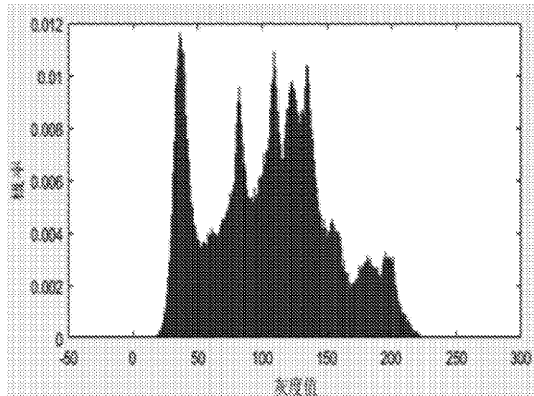
### 4.1 增强图像结果分析

通过文中提出的改进 Pal 增强算法, 选用经典图像 Lena 的灰度图像进行仿真试验, 分别采用自适应直方图均衡化算法、传统 Pal 算法以及

文中方法三种算法进行试验。根据以上算法公式推导, 使用 MATLAB2016b 软件运行三种算法来处理图像增强问题, 分别画出增强图像和图像直方图, 实验结果分别如图 1~图 4 所示。



(a) 原图像

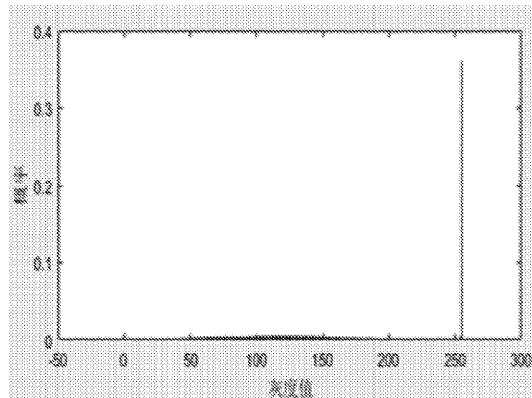


(b) 原图像直方图

图 1 Lena 原图像



(a) 增强图像

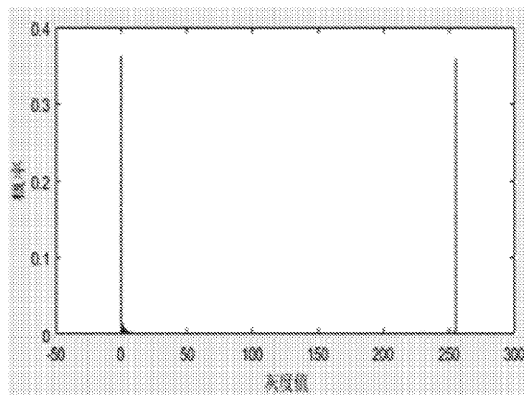


(b) 增强图像直方图

图 2 自适应直方图均衡化算法增强图像



(a) 增强图像

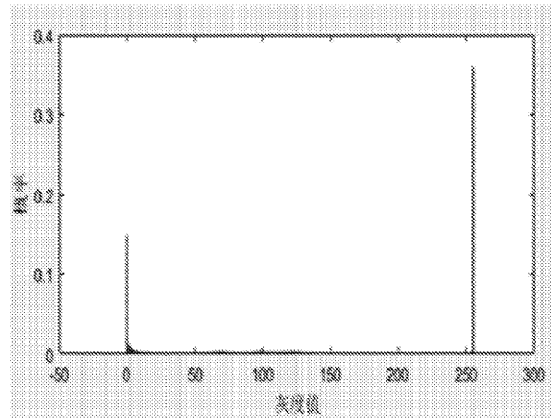


(b) 增强图像直方图

图 3 Pal 算法增强图像



(a) 增强图像



(b) 增强图像直方图

图 4 文中算法增强图像

图 1(a)为原灰度图像,图 1(b)为原灰度图像直方图;图 2(a)为采用自适应直方图均衡化算法增强后的图像,结合图 2(b)可以看出,增强后的图像在边缘保护性方面表现不佳;图 3(a)为采用传统 Pal 算法增强后的图像,结合图 3(b)发现,增强后的图像已接近二值化,部分信息丢失,图像增强的效果不好;图 4(a)为文中算法增强后的图像,图 4(b)为文中算法增强的图像直方图,与前两种算法增强后的图像和图像直方图相比,文中

算法增强后的图像不仅在主观视觉性方面表现效果良好,而且在边缘结构保护方面表现也很突出。该算法具有良好的非线性拟合能力和全局搜索能力。

#### 4.2 三种算法运行评价参数对比分析

为检验文中算法增强图像的性能以及有效性,设定了四种评价参数,计算出三种算法的客观评价参数,见表 1。

表 1 各种算法的客观评价参数

算法	EPI	PSNR	IE	MSE
自适应直方图均衡化算法	0.48	17.38	5.82	14.62
Pal 算法	0.67	16.26	3.98	13.56
文中算法	0.74	16.66	5.18	13.18

表 1 给出了自适应直方图均衡化算法、传统 Pal 算法以及文中方法(改进的 Pal 增强算法)的边缘保护指数(EPI)、峰值信噪比(PSNR)、信息熵(IE)和均方根误差(MSE)的数值,即从算法的边缘结构保护能力、噪声抑制能力、细节增强能力以及对比度增强能力这四个角度定量分析上述三种算法的增强效果。从实验结果可以看出,文中方法在边缘保护指数方面表现明显好于其他两种算法,而与传统 Pal 算法相比,在 EPI、PSNR 以及 IE 三个方面都要优于传统 Pal 算法,而且在 MSE 方面与传统 Pal 算法相差不多。说明该算法能够更好地保护结构边缘,有效增强图像细节,而且引入的噪声最少,误差最低。

## 5 结 语

文中算法是对传统 Pal 算法的改进。仿真结果表明,文中算法在边缘保护性和局部增强性方面达到了良好的效果,而且迭代次数不多,保证了算法的自适应性,同时也提高了收敛的速度。希望此改进算法能够为解决实际中多数的图像增强问题提供帮助。

#### 参考文献:

- [1] Pal S K, King R A. On edge detection of X-ray images using fuzzy sets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983(1): 69-

- 77.
- [2] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. Information and Control, 1965(8):338-353.
- [3] 刘春辉.关于 Fuzzy 蕴涵代数的模糊 MP 滤子[J].四川师范大学学报:自然科学版,2015(2):234-238.
- [4] 孔平.基于偏微分方程的图像去噪与增强研究[D].南京:南京理工大学,2012.
- [5] 张炜.THT 机制耦合高斯模糊的图像融合方案[J].西南大学学报:自然科学版,2017,39(12):143-151.
- [6] 张世华,宋振明.图像模糊边缘检测算法的 Delphi 实现[J].四川师范大学学报:自然科学版,2003,26(5):534-537.
- [7] Bai X, Zhou F, Xue B. Image enhancement using multi scale image features extracted by top-hat transform [J]. Optics & Laser Technology, 2012, 44(2):328-336.
- [8] 王睿凯,桂志国,张权,等.基于模糊熵边缘信息同质性测度的对比度增强[J].中北大学学报:自然科学版,2014,35(1):76-82.
- [9] 周婷婷,王宏志.基于小波分析和遗传算法的乳腺 X 线图像分割[J].长春工业大学学报:自然科学版,2014,35(5):487-489.
- [10] 刘乐,李阳,侯阿临,等.基于 CT 图像的肺实质分割[J].长春工业大学学报,2015,36(1):72-76.