

基于模糊集的图像增强方法研究

贾莹 段玉波

(大庆石油学院, 大庆 163000)

摘要 图像增强处理中常用的均值滤波和中值滤波等方法有较强的抑制噪声的能力,在一定程度上会导致图像模糊,影响图像处理的效果。直方图均衡化是目前地震图像增强的主要方法,但它存在着图像细节信息丢失和噪声放大的缺点。基于模糊集的图像增强方法逐渐被应用到实际的图像处理中,并且显示出它优于传统图像增强算法的特点。因此,将基于模糊集的图像增强方法应用到图像处理中,以克服传统图像增强方法的不足。首先对传统的 Pal-King 基于模糊集的图像增强算法进行了研究。针对 Pal-King 算法的缺点和不足,提出了两种改进算法,并且运用模糊熵理论对改进算法的正确性进行了证明。

关键词 图像增强 模糊集 模糊熵

中图分类号 TP391.41; **文献标志码** A

图像在人类的感知中扮演着非常重要的角色,人类随时随处都要接触图像。据统计,在人类接受的信息中,视觉信息占70%以上。正所谓“百闻不如一见”,在许多场合,图像所传递的信息比其他任何形式更加丰富和真切。由此可见,图像信息是非常重要的^[1]。

图像(Image)就是采用各种观测系统获得的,能够为人类视觉系统所感觉的实体。人的视觉系统本身也是一个观测系统,它得到的图像就是客观景物在人们心目中的有形想象。图像的范围非常广泛,包括:各类图片(Picture),如普通照片、X光片、遥感图片;各类光学图像,如电影、电视画面;客观世界在人们心目中的有形想象以及外部描述,如绘画、绘图;等等^[2]。

目前,数字图像处理已成为人们认识世界、改造世界的重要手段。数字图像处理的最高目的是实现对数字图像中物体的分类或识别,即模式识别,从而构造自动处理某些信息的机器系统,以代替人完成分类和辨识的任务。它一般分为四个部分:信息获取部分、预处理部分、特征提取、决策分

类。而预处理部分则使用图像变换、增强和复原等技术对图像进行处理,提高图像的视觉效果,优化各种统计指标,为特征提取提供高质量的图像^[3,4]。

图像增强是一种基本的图像底层处理的手段,它的目的在于改善原始图像的视觉效果。传统的图像增强方法,技术上可以分成两大类:频域法和空域法。前者立足于修改图像的傅立叶变换,后者基于灰度级映射变换,直接处理图像中的象素,其变换型取决于增强准则的选择。这些传统的图像增强技术大都没有考虑图像的模糊性,而只简单地对整个图像改变对比度或抑制噪声,往往在抑制噪声的同时也削弱了图像的细节部分。本文将基于模糊集的图像增强方法应用到图像处理中,以克服传统图像增强方法的不足。

1 模糊集的图像增强经典算法

模糊集的概念:在普通集合论中,一个对象对于一个集合,要么属于,要么不属于,二者必居其一,绝不模棱两可。当一个集合用特征函数来表示时,可用式(1)表示元素 x 是否属于集合 A 。

$$I_A = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

这就限定了普通集合论只能表现“非此即彼”

2010年3月18日收到

第一作者简介:贾莹(1985—),女,硕士研究生,研究方向:油气信号与信息工程。E-mail:88063310@163.com。

的现象,只能表现确定概念^[5]。

为了能够表示具有“亦此亦彼”性的模糊现象与模糊概念,1965年L. A. Zadeh提出了模糊集合概念,将普通集合论中元素 x 对于集合 A 隶属关系特征函数的取值范围从 $\{0,1\}$ 拓展到了 $[0,1]$,从而导出了模糊集合(也称模糊子集)的概念。

模糊特征平面:按照模糊子集理论的概念,一幅 $M \times N$ 维的具有 L 个灰度等级的图像 X ,可以作为一个模糊点阵看待,记为

$$X = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N \mu_{ij}; i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

或

$$X = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1N} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{M1} & \mu_{M2} & \dots & \mu_{MN} \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中 $\frac{\mu_{ij}}{x_{ij}}$ 表示图像中第 (i,j) 点像素具有某种特征的程度为 μ_{ij} ($0 \leq \mu_{ij} \leq 1$),称 μ_{ij} 为模糊特征。

若以像素的相对灰度级作为感兴趣的模糊特征,这时 μ_{ij} 表示像素 (x,y) 的灰阶 x_{ij} 关于某个特定灰度等级的隶属度,通常这个特定的灰度等级为图像的最大灰度等级 x_{\max} 。由 μ_{ij} 的全体组成的平面 $\{\mu_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$,称为模糊特征平面。

Pal-King算法:以Pal和King提出的方法为基础来介绍模糊增强方法的基本原理。Pal方法首先利用变换函数(即隶属度函数)提取图像的模糊特征,所用的隶属度函数如式(4)所示。

$$\mu_{ij} = G(x_{ij}) = \left(1 + \frac{x_{\max} - x_{ij}}{F_d}\right)^{-F_e} \quad (4)$$

式(4)中 F_e 和 F_d 分别为大于零的指数模糊化因子和分母模糊化因子, $\mu_{ij} \in [\alpha, 1], \alpha > 0$;形成图像的模糊特征平面 $\{\mu_{ij}\}$,称 $\mu = 0.5$ 对应的灰度等级为渡越点。通过对隶属度函数 μ_{ij} 进行变换,并以渡越点为界增大或减小 μ_{ij} 的值,从而得到一个由全体

μ_{ij}' 组成的新模糊特征平面 $\{\mu_{ij}'\}$,其中

$$\mu_{ij}' = T^{(r)}(\mu_{ij}) = T(T^{(r-1)}(\mu_{ij})), r = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

而 $T(r)$ 是函数 T 的 r 次迭代运算,其中变换 T 取为某种S型函数,如式(6)

$$T(\mu_{ij}) = \begin{cases} 2(\mu_{ij})^2, & 0 \leq \mu_{ij} \leq u_c \\ 1 - 2(1 - \mu_{ij})^2, & u_c \leq \mu_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中 u_c 为阈值,一般取0.5(也可自定义),其作用是增大那些大于0.5的而减小那些小于0.5的,以达到增强对比度的目的^[6]。

对新的模糊特征平面 $\{\mu_{ij}'\}$ 进行式(7)所示的逆变换,

$$x_{ij}' = G^{-1}(\mu_{ij}') = x_{\max} - F_d \left[(\mu_{ij}')^{\frac{1}{F_e}} \right], a \leq \mu_{ij}' \leq 1 \quad (7)$$

式(7)中 G^{-1} 表示 G 的逆变换,这样就可以得到模糊增强后的图像的灰度值。

从上述分析可知,Pal提出的模糊增强的模型如图1所示^[7]。

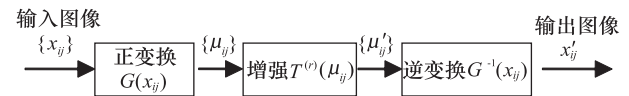


图1 模糊增强模型

2 改进的基于模糊集图像增强算法

构造新的隶属函数:为了克服Pal-King算法的不足,首先对隶属函数进行改造,Pal-King算法隶属函数与渡越点有关,而渡越点又与阈值 P_c 有关,为了消除其影响,定义新的隶属函数如式(8)所示。

$$P_{ij} = F(X_{ij}) = \lg_2 \left[1 + (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \right] \quad (8)$$

式(8)中 T_{\min} 为灰度值的最小值, T_{\max} 为灰度值的最大值,计算出的隶属函数值都分布于 $[0,1]$ 上,处理后不会造成在原图中相当多的低灰度值被硬性切削为0,保存了图像中的低灰度值边缘信息^[8]。

对图像进行模糊增强变换:对图像进行模糊增强处理,反复采用非线性变换,即:

$$P_{ij}^{r'} = T_r(R_{ij}) = T_1(T_{r-1}(P_{ij})); r = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (9)$$

式(9)中, $T_{ij} =$

$$\begin{cases} \frac{\sin(\pi(P_{ij} - 0.5)) + 1}{4} + P_{ij}^2, & 0 \leq P_{ij} \leq 0.5 \\ \frac{\sin(\pi(P_{ij} - 0.5)) + 1}{4} - (1 - P_{ij})^2 + \frac{1}{2}, & 0.5 < P_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (10)$$

该变换将 *Pal. King* 模糊增强算子与中史卉萍提出的模糊增强算子相结合,增大了大于 0.5 的 $l_{ij} = 0$ 的值,又减小了小于 0.5 的 $T_{ij} = T_{\max}$ 的值。随着递归次数 r 的增大,图像的增强效果越来越明显,当 r 趋于无穷大时,最终将产生二值图像,这时模糊增强事实上就变成了分割。

图像由模糊域映射到变换域:对变换后的模糊隶属度值进行逆运算,得到增强后的图像的灰度值。逆变换式如式(11)。

$$X_{ij}' = X_{\min} + (X_{\max} - X_{\min})(2^{P_{ij}'} - 1) \quad (11)$$

因为进行增强变换后的 $P_{ij}' \geq 0$,所以 $2^{P_{ij}'} \geq 1$, $2^{P_{ij}'} - 1 \geq 0$, $X_{ij}' \geq X_{\min}$,这就避免了 *Pal-King* 模糊增强算法中出现的逆变换后像素灰度值为负数的情况,保留了低灰度值边缘信息,从而从整体上对图像进行了增强^[9]。

3 改进算法的增强效果及分析

为了检验和评价模糊增强算法的增强效果,我们对 *Pal-King* 增强算法中图像增强前后对应的两个模糊集合的信息熵进行比较。设 n 个元素的模糊集合为 X ,定义模糊熵如式(12)。

$$H(X) = \frac{1}{n \ln 2} \sum_{i=1}^n [S_n(x_i)] \quad (12)$$

式(12)中 $S_n(\cdot)$ 为 *Shannon* 函数: $S_n(x_i) = -x_i \ln x_i - (1 - x_i) \ln(1 - x_i)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$);

将式(12)推广到二维图像的模糊集合 I 中有:

$$H(X) = \frac{1}{MN \ln 2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [S_n(x_{ij})] \quad (13)$$

式(13)中 $S_n(x_{ij}) = -x_{ij} \ln x_{ij} - (1 - x_{ij}) \ln(1 - x_{ij})$ 。

在具体运算时,考虑到 $x_{ij} = 1$ 的情况,所以 $S_n(x_{ij})$ 应为:

$$S_n(x_{ij}) = \begin{cases} -x_{ij} \ln x_{ij} - (1 - x_{ij}) \ln(1 - x_{ij}), & x_{ij} \neq 1 \\ 0, & x_{ij} = 1 \end{cases} \quad (14)$$

用模糊增强算子 $T_r(\cdot)$ 作用在模糊集合 $X = \{(x_{ij})\}$ 上,可产生新的模糊集 $X' = \{(x_{ij}')\}$,该集合的熵 $H(X')$ 的定义与式(13)相同。由于熵 $H(X)$ 是非负的,而算子 $T_r(\cdot)$ 可递归调用,当调用次数 $r \rightarrow \infty$ 时, $X' = \{(x_{ij}')\}$ 变成一个普通集合,即:

$$0, 0 \leq x_{ij} < 0.5$$

$$x_{ij} = 1, 0.5 \leq x_{ij} \leq 1$$

$$(i = 0, 1, \dots, M-1; j = 0, 1, \dots, N-1.) \quad (15)$$

此时增强后的图像为二值的,故 $H(X') = 0$,说明图像的模糊增强效果是朝着熵减小的方向进行的,即 $H(X') < H(X)$ 。换句话说,图像越清晰模糊熵越小,反之越大。

最大熵原理是一种分析信息从而确定事件的特定概率分布的方法。在 *Shannon* 的信息熵中,熵值是给定的事件概率分布的函数,可以用拉格朗日乘法证明:当信源的每一事件等概率出现时信源有最大熵,即 $P(x_i) = \frac{1}{N}, i = 1, 2, \dots, N$ 时有最大熵 $\lg_2 N$ (*bit/符号*),此时信源的熵最大^[10]。

而本文的改进算法中图像每一点的隶属度值都是从 $1/2$ 减小到 0 或者扩大到 1,即从中心 $1/2$ 向两端 0、1 变化,最终得到二值图像,其对应的图像的模糊熵从最大减小到 0,图像逐渐变得清晰。所以,改进算法的模糊熵是逐渐减小的,是一种有效的增强算法。选用 *lena* 图像进行仿真实验,增强效果如图 2 所示。

图 2(a) 为 *Lena* 原图,图 2(b) 为采用 *Pal-King* 算法增强两次后的图像,可以看出,增强后的图像部分低灰度值信息丢失。图 2(c)(d)(e) 为采用本文算法分别增强 1、2、3 次获得的图像,可以看出,采用本文算法获得的增强图像都比采用 *Pal-*

King 算法对比度效果好,边缘更加清晰丰富。当 $r=1$ 时,增强不够充分,边缘不够清晰, $r=2$ 时,细节边缘比较清晰, $r=3$ 时,细节边缘更加清晰。因此,使用本文改进后的基于模糊集的图像增强算法时,选取 $r=2$ 或 $r=3$ 比较合适,增强次数不多。



图2 改进算法增强图

4 总结

本文首先对传统常用的图像增强方法进行了研究,然后介绍了传统的基于模糊集的图像增强方法——Pal-King 增强方法,并分析了 Pal-King 算法的优缺点。针对 Pal-King 算法的缺点和不足,本文

提出了改进算法。最后,利用模糊熵对本文提出的改进算法的正确性进行了简单的说明,并选用 *lena* 图像进行了仿真实验,实验结果表明,改进算法确实比 Pal-King 算法取得了更好的增强效果。

参考文献

- 1 Li Hua, Yang H S. Fast and reliable image enhancement using fuzzy relaxation technique. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1989; 19(5): 1276—1281
- 2 鱼海涛. 基于模糊集理论的图像增强算法研究. 西安:西安科技大学,2005
- 3 李弼程,彭天强,彭波,等. 智能图像处理技术. 北京:电子工业出版社,2004
- 4 高彦平. 图像增强方法的研究与实现. 济南:山东科技大学,2005
- 5 李刚. 数字图像的模糊增强方法. 武汉:武汉理工大学,2005
- 6 Lee J S. Digital enhancement and noising filtering by using of local statistics. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1980; PAMI-2: 165—168
- 7 李宏刚. 基于模糊集的车辆图像增强方法研究. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006
- 8 Lev A. Zucker S W, Rosentfeld A. Iterative enhancement of noisy images. IEEE Trans Syst Man Cybern, 1977; SMC-7: 435—441
- 9 Davis L S, Rosenfeld A. Noise cleaning by iterated local averaging. IEEE Trans Syst Man Cybern,1978; SMC-8: 705—710
- 10 Saint-Marc P. Chen J. Mendioni G. Adaptive smoothing: a general tool for early vision. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell,1993; 13(6):514—529

Research and Implementation of Image Enhancement Based on Fussy Sets

JIA Ying, DUAN Yu-bo

(Daging Petronium Insifufe, Daqing 163318, P. R. China)

[Abstract] Mean filtering and median filtering methods, which are commonly used in image enhancement, have a stronger ability to suppress noise, but to some extent, it will blur the image processing and affect the interpretation results. Histogram equalization is the primary means of image enhancement, but there are some shortcomings of image detail information loss and noise amplification existing in it. The image enhancement based on fuzzy sets have been gradually applied to the actual image processing, and shown that it is superior to the traditional image enhancement algorithm. Consequently, applying image enhancement method based on fuzzy sets to the seismic image in order to overcome the deficiencies of traditional image enhancement methods is first proposed. Firstly, the traditional Pal-King image enhancement algorithm based on fuzzy sets has been studied. Two improved algorithms are proposed to overcome the shortcomings and deficiencies of the Pal-King algorithm, and the correctness of the improved algorithms is proved by fuzzy entropy theory.

[Key words] image enhancement fuzzy sets fuzzy entropy