

一种基于图像方向信息测度算法的 自适应表格图像增强算法

王胜军 梁德群

(大连海事大学信息工程学院信号与图像处理研究所, 大连 116026)

摘要 图像增强是图像处理的重要任务。为了有效地增强对比度极低的表格图像,提出了基于图像方向信息测度算法的自适应图像增强算法。该方法首先在像素级利用图像方向信息测度将图像像素分为平滑点和阶跃边缘点;然后针对表格图像特点,再对平滑点细分为平滑点和屋脊边缘点,同时,对不同类型的点设计不同的滤波方法,以便通过算法自适应来初步增强图像;最后,利用模糊增强算法来对图像进行对比度增强,以达到更好的增强效果。实验表明,该算法能有效地增强对比度极低的表格图像,并使得结果图像有很好的视觉效果。

关键词 图像增强 图像方向信息测度 阶跃边缘检测 屋脊边缘检测 像素分类

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)01-0060-06

An Algorithmic Adaptive Enhancement Algorithm of Form Image Based on Image Information Measure

WANG Sheng-jun, LIANG De-qun

(Institute of Signal and Image Processing College of Information Engineering Dalian Maritime University, Dalian 116026)

Abstract Image enhancement is an important task of image processing. We propose an algorithmic adaptive image enhancement method based on image information measure in this paper. At the image pixel level, image pixels are classified into smooth pixels and edge pixels by using image information measure, then the smooth pixels are further classified into smooth pixels and ridge pixels aiming at the feature of form image. Relevant filtering algorithms are designed for different types of pixels, which realizes algorithmic adaption and enhance image primarily. Finally, the multi_level fuzzy enhancement algorithm is imposed to enhance image contrast and achieve a better enhancement effect. Experimental results show that the algorithm can enhance the low contrast image effectively and obtain a very good visual effect.

Keywords image enhancement, image information measure, step edge, ridge edge, pixels classifying

1 引言

虽然自适应处理是提高图像处理算法效果的有效手段,但自适应需要有一种定量的测试来作为自适应的判据才能进行自适应。测试方法的不同,也直接影响自适应的效果,为此,本文测试每个像素点的图像信息测度,依据测度来选择不同的算法以形

成算法自适应增强。文献[1]中提出的图像方向信息测度,能有效地对图像在像素级进行分类,即分为平滑点、边缘点和纹理点,并能很好的检测出图像中的平滑、边缘及纹理信息,同时能根据不同类型的像素点自适应地选择增强算法来实现算法自适应。

众所周知,图像增强是改善视觉的有效手段,其主要是增强高频信息和清除噪声。图像增强方法大致上有空域法(如直方图均衡^[2]、Unsharp masking^[3]、

收稿日期:2004-09-13;改回日期:2005-05-12

第一作者简介:王胜军(1979~),男,2002年获大连海事大学工学学士学位,2005年获大连海事大学硕士学位。现在沈阳东软医疗系统有限公司从事医疗CAD软件、医学图像处理算法的研发。主要研究方向为医学图像处理及医学CAD软件开发等。E-mail: wangshengjun@neusoft.com

邻域统计增强^[4]、变换域法(同态增强^[2]、小波变换^[5]等)、模糊函数法^[6]等。作者认为,图像增强的最好效果应该是使边缘区足够鲜明和使平滑区足够平滑。以上的方法,虽然都能在一定程度上取到增强的效果,但是都没有把边缘或者目标图像和背景分开,即都没有充分发挥边缘和目标背景在人类视觉中的作用。大家知道,边缘表现为图像中的灰度突变部分,是图像中细节部分(高频信息),对视觉有很重要的作用^[7,8]。传统的边缘检测算法只考察单个像素的灰度突变,没有考察边缘的结构特征,但在文献[1]和[9]中都提出图像方向信息测度的概念,认为边缘不仅仅是局部灰度突变的极大值,边缘具有很强的方向性,而噪声是随机的,这就为人们为在多噪声情况下检测边缘提供了更有效的方法。用方向信息测度来检测边缘,并用统计的方法自适应地确定阈值,不仅能检测出图像中的边缘信息,而且具有很强的抗噪性能。为此,本文利用图像方向信息测度的思想,在像素级对表格图像分类,即分为边缘点和平滑点。表格图像中一般需要增强的是文字和表格线,由于文字和线都是线型的,具有强烈的方向性,其在图像中表现为屋脊边缘部分,如果只区分阶跃边缘点和平滑点,则屋脊边缘点含在被划分的平滑点中,因此有必要从中将其分离出来。本文通过完善图像方向信息测度,将屋脊边缘分离出来,最后,根据不同类型的像素点,选择与之相适应的滤波方法,以达到算法自适应的目的,并取得很好的处理效果。

2 图像方向信息测度

确定图像像素分类的原则实际上是要给出边缘点、平滑点和纹理点的定义,图像方向信息测度则能很好地对像素进行自适应分类。具体的方向信息测度的定义如下:

设当前像素点的坐标为 (i, j) ,其邻域为 $R = \{(m, n) \mid |m-i| \leq L, |n-j| \leq L\}$, L 是邻域长度的一半, l_θ 是过中心点,且角度为 θ 的一条直线,其将该邻域分成两半 $S_1^{(\theta)}$ 和 $S_2^{(\theta)}$,则方向性图像信息测度 $M_{i,j}$ 的定义为

$$M_{i,j} = d_{\max}^{(\theta)} - d_{\min}^{(\theta)}$$

其中

$$d_{\max}^{(\theta)} = \max_{0^\circ \leq \theta < 180^\circ} (d^{(\theta)}), \quad d_{\min}^{(\theta)} = \min_{0^\circ \leq \theta < 180^\circ} (d^{(\theta)}),$$

$$d^{(\theta)} = |f_{S_1^{(\theta)}} - f_{S_2^{(\theta)}}|, \quad f_{S_1^{(\theta)}} = \sum_{(i,j) \in S_1^{(\theta)}} x_{i,j}, \quad f_{S_2^{(\theta)}} = \sum_{(i,j) \in S_2^{(\theta)}} x_{i,j}$$

$x_{i,j}$ 表示像素点 (i, j) 的灰度值。

由于方向信息测度具有适合于图像像素分类的特性^[1],而利用这些特性,就可以很好地将图像分为平滑点,边缘点和纹理点。同时对于随机噪声,由于不具备方向性,即无论 l_θ 取什么方向,两边噪声的分布是一致的,因此噪声对 $M_{i,j}$ 值的影响很小,这也是该检测方法能抑制噪声的主要原因。

3 基于屋脊边缘灰度信息的边缘检测方法

边缘大致可分阶跃边缘和屋脊边缘,对于阶跃边缘很多学者都进行了研究,但对屋脊边缘的检测则讨论比较少。文献[9]中对屋脊边缘检测做了非常深入的研究,同时用边缘灰度的分布信息来检测边缘,并提出用散度 D 和对比度 G 来表征屋脊边缘,其中散度 D 表达屋脊边缘的灰度在空间分布上是否集中,对比度 G 表达屋脊边缘的灰度与背景灰度的差异。原始具体的定义请参见文献[9]。结合文献的定义,作者对其改进后定义描述如下(只分析下凹型屋脊边缘,上凸型屋脊边缘类似):

设当前像素点的坐标为 (i, j) ,其邻域为 $R = \{(m, n) \mid |m-i| \leq L, |n-j| \leq L\}$, L 是邻域长度的一半。邻域大小应使屋脊边缘完全表现出来,因此将邻域 R 内所有像素点的灰度值进行排序,得到 $\{x^{(l)} \mid x^{(l)} \leq x^{(l+1)}, 0 \leq l < (2L+1) \cdot (2L+1)\}$,其中 $x^{(l)}$ 是排序为第 l 个像素点的灰度值,令

$$R_1 = \{(i, j) \mid x^{(0)} \leq x_{i,j} < x^{(2L+1) \cdot L}\}$$

$$R_2 = \{(i, j) \mid x^{(2L+1) \cdot (L+1)} \leq x_{i,j} < x^{(2L+1) \cdot (2L+1)}\}$$

则将邻域 R 分为灰度值较小和灰度值较大的两个区域 R_1 和 R_2 (不包括中间值点)。

散度 D 定义为

$$D = \min \{d^{(\theta)} \mid \theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$$

其中 $d^{(\theta)} = \sum_{(i,j) \in R_1} |(i-m) - \tan\theta \cdot (j-n)| \cdot |\cos\theta|$ 。

对比度 G 表征邻域 R 内灰度突变的情况,若将邻域 R 按空间位置重新划分区域 $R_1^{(\theta)}$ 和 $R_2^{(\theta)}$,其中

$$R_1^{(\theta)} = \left\{ (i, j) \mid \left| (i-m) \cdot \sin\theta - (j-n) \cdot \cos\theta \right| \leq \frac{L}{2} \right\}$$

$$R_2^{(\theta)} = \left\{ (i, j) \mid \left| (i-m) \cdot \sin\theta - (j-n) \cdot \cos\theta \right| > \frac{L}{2} \right\}$$

则对比度 G 定义为

$$G = \max \{ |x_2^{(\theta)} - x_1^{(\theta)}| \mid \theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ \},$$

$$x_1^{(\theta)} = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in R_1^{(\theta)}} x_{i,j}, \quad x_2^{(\theta)} = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in R_2^{(\theta)}} x_{i,j}$$

其中 N 为 $R_1^{(\theta)}$ 和 $R_2^{(\theta)}$ 中的像素点个数。

同时,可以定义以下的屋脊边缘判定方法:

设散度阈值为 T_1 , 对比度阈值为 T_2 , 如果 $D < T_1$, 且 $G > T_2$, 则为屋脊边缘点, 其他的不是屋脊边缘点。

4 自适应像素分类

利用图像方向信息测度, 可以对像素分类, 并首先分为平滑点和边缘点。通过大量的实验表明, 平滑点的方向性信息测度 $M_{i,j}$ 的分布可以近似看成是高斯分布, 而边缘点则不具有该特点。例如, 对原始表格图像(图 1)平滑预处理后, 将方向信息测度 $M_{i,j}$ 量化成 256 色(图 2), 其直方图分布如图 3 所示。

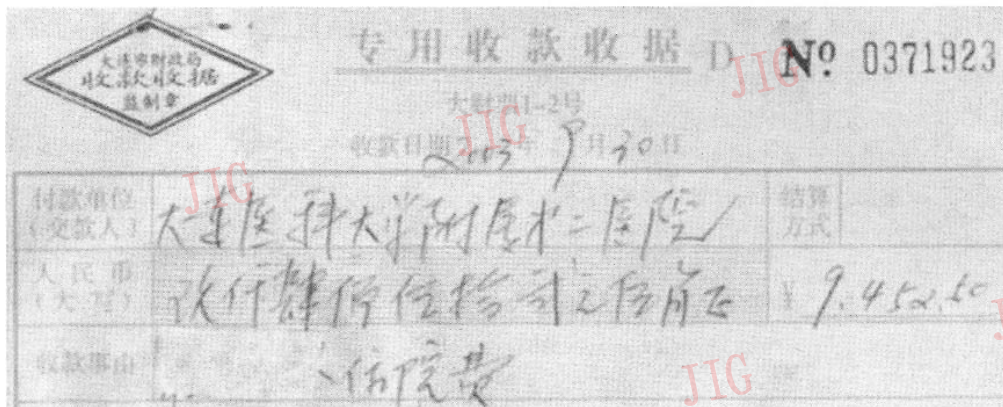


图 1 原始图

Fig. 1 The original image



图 2 方向信息测度(反色后的)

Fig. 2 The image of direction measure(Negative Image)

在对直方图进行高斯拟合时, 采用了以下的办法: 找到直方图中最高峰值灰度点, 然后对该点为中心的某一邻域取均值, 再在该邻域中, 寻找和该均值偏差最小的灰度为要求的均值 μ 。最后计算能量, 并根据高斯分布的特性(3 倍的方差处能量大约是 99.7%) 计算出方差 σ 。

利用以上的方法来进行边缘检测时, 取阈值为 $\mu + \lambda \cdot \sigma$, 其中 λ 为调整权值, 一般取 1。检测到的边缘如图 4 所示。

由于表格图像中目标一般是条状的, 且在上述的检测边缘图中目标都是空心的, 从而为处理带来了不便。利用上述的屋脊边缘检测方法, 得到的屋

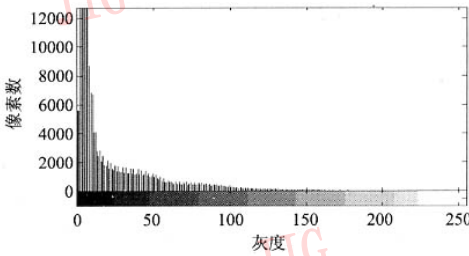


图 3 图 2 的直方图
Fig. 3 The Histogram of Fig. 2

脊边缘检测图如图 5 所示。

5 目标图像自适应增强

对图像像素进行分类的目的是为了算法自适

应,对不同类型的像素,选择适合自己的滤波算法。

从上面的检测图可以看出,目标边缘的大致区域和轮廓虽然已经基本确定,但是,对边缘的定位,一方面由于受尺度和噪声的影响,有一定的偏差;另一方面由于待检测图像的质量不高,文字和背景虽然能满足视觉特性区分开来,但是灰度差很小,对比度不高,如果对目标边缘采用一般的中值滤波方法,则不能有效的拉开灰度,因此本文自行设计了以下滤波方法,并命名为邻域均值比较滤波法。

设原始图为 F ,图 4 的二值图像矩阵为 I ,图 5 的二值图像矩阵为 \hat{I} ,且在 I 和 \hat{I} 中 0 表示黑像素,1 表示白像素, S 为 F 的 R 邻域内像素的灰度集合, m 表示该邻域的灰度均值,则

If $\hat{I}_{i,j} = 0$, then $F_{i,j} = \min(S)$; 其中 \min 表示取最小值。

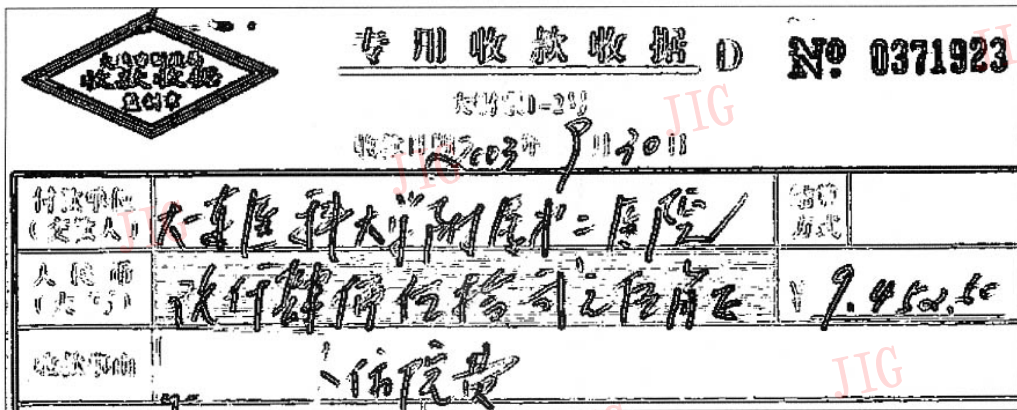


图 4 检测的边缘结果
Fig. 4 Results of edge detection



图 5 检测的屋脊边缘图
Fig. 5 Image of ridge edges

If $\hat{I}_{i,j} = 1$ 且 $I_{i,j} = 1$, then $F_{i,j} = \max(S)$; 其中 \max 表示取最大值。

If $\hat{I}_{i,j} = 1$ 且 $I_{i,j} = 0$

If $F_{i,j} > m$, then $F_{i,j} = \max(S)$ Else $F_{i,j} = \min(S)$;

End

上述增强后得到的增强图像为 \hat{F} , 然后对平滑区进行大尺度平滑, 即

If $\hat{I}_{i,j} = 1$ 且 $I_{i,j} = 1$, then $\hat{F}_{i,j} = m$; 其实验效果如图 6 所示。

空域增强后的图像, 目标和背景的灰度差比较大, 平滑区得到了充分且大尺度的平滑, 而且目标区(边缘区)用以上描述的空域滤波器滤波, 则在保存了边缘细节的同时, 也去除了噪声, 这就为以下的对比度拉伸进行了最好效果的预处理。对以上图像进行多级模糊增强^[10,11]拉伸对比度后的图像如图 7 所示。

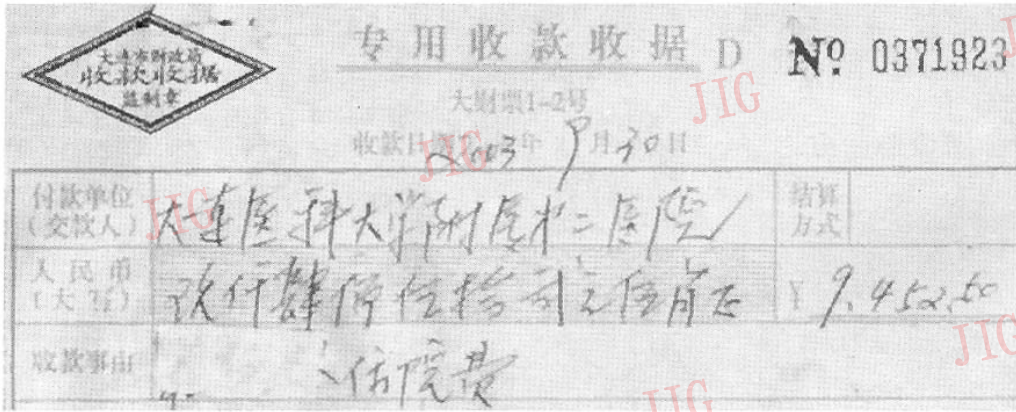


图 6 空域增强图

Fig. 6 Enhanced image is space domain

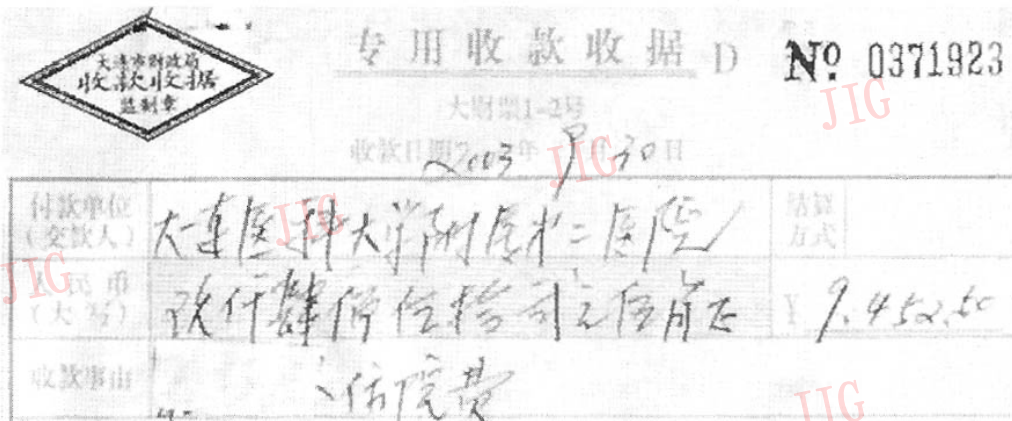


图 7 结果图

Fig. 7 Result image

由实验结果可见, 本文自行设计的邻域均值比较空域滤波方法和一般的中值滤波方法的实验结果显示, 本文的方法明显优于一般的中值滤波方法, 尤其是在细节部分, 可很好地保持细节; 和对原始图直接进行均衡增强、模糊增强比较, 结果显示本文的效果明显优于它们。由于篇幅有限, 没有列出比较结

果图。

由图像方向信息测度的定义可以得到以下的结论: 利用图像方向信息测度进行像素分类后, 在平滑区, 测度反应了平滑区的光滑程度, 测度越小, 图像越光滑, 视觉效果越好; 在边缘区, 测度反应了边缘的突变程度, 即测度越大, 阶跃越大, 边缘越陡峭, 视

觉效果越好。从表 1、表 2 中的数据指标可以看出,本文算法对平滑点的平滑、边缘点的边缘拉伸效果非常显著。从另外一个角度看,平滑点的改进量远远没有边缘点的大,因为方向信息测度是基于统计的,这也是它能很好地抑制噪声的原因。同时,表中的数据也表明,用方向信息测度对像素进行分类的科学性。

表 1 增强前后测度大小比较

Tab. 1 Compare measure magnitude of original image with enhanced image

	平滑点测度均值	边缘点测度均值
原始图	38.0628	277.0101
空域增强图	36.7421	340.5345
平均改进量	1.3207	63.5244

表 2 本文算法增强结果与直接模糊增强结果图测度大小比较

Tab. 2 Compare measure magnitude of our enhanced image with direct fuzzy enhanced image

	平滑点测度均值	边缘点测度均值
原始图直接模糊增强结果	43.1440	397.6975
本文算法增强结果图	40.4236	475.5165
平均改进量	2.7204	77.8190

6 结 论

综上所述,利用方向信息测度,可以很好地对图像在像素级进行分类,从而为算法自适应处理提供了测试标准;由于表格图像中的目标是线型的,在图像中表现为屋脊边缘,因此利用屋脊边缘的检测方法,可以很好的对目标进行定位增强;阶跃边缘由于受尺度和图像质量的影响,定位精度不高,因此设计了邻域均值比较滤波方法来进行滤波,取得了很好的处理效果。实验结果对比显示,本文的方法明显优于一般中值滤波方法,不仅能很好地适应本类图像的特点,而且对后续的对比度拉伸有很好的效果。实验证明,该算法能有效地对表格文字这一类线型

目标的低对比度图像进行增强处理,且效果明显;对高对比度的这类图像的实验结果显示,效果更好。这不仅为现在越来越多的表格类图像的处理提供了较好的自适应增强算法,而且具有重要的现实意义。

参考文献 (References)

- 1 YANG Hai-jun. Researches on lower level processing issues in images testing and their application for fingerprints identification [D]. Xi'an; Xi'an Jiaotong University, 2000;15~25. [杨海军. 图像检测中的若干低级处理问题以及在指纹识别中应用的研究[D]. 西安:西安交通大学, 2000;15~25.]
- 2 Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. Digital image processing (Second Edition) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry China, 2002;572~585, 88~108, 191~194.
- 3 Levi L. Unsharp masking and related image enhancement techniques [J]. Computer Graphics Image Processing, 1974, 3(2): 163~177.
- 4 Lee J S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1980, 2(3): 165~168.
- 5 JBrown T. An adaptive strategy for wavelet based image enhancement [A]. In: Proceedings of Irish Machine Vision and Image Processing Conference [C], Belfast, Northern Ireland, 2000;67~81.
- 6 Pal S K, King R A. Image enhancement using smoothing width fuzzy set [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1981, 11(7):494~501.
- 7 Polesel Andrea, Ramponi Giovanni. Image enhancement via adaptive unsharp masking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(3):505~510.
- 8 Greenspan Hayit, Anderson Charles H, Akber Sofia. Image enhancement by nonlinear extrapolation in frequency space [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(6):1035~1048.
- 9 YANG Xuan. Research on multi-scales edges detection method based on image information measurement [D]. Xi'an; Xi'an Jiaotong University, 1998. [杨焯. 基于图像信息测度的多尺度边缘检测方法研究[D]. 西安:西安交通大学, 1998.]
- 10 WANG Ming-zhao, HU Hao, YANG Jie. A generalized fuzzy set based algorithm of image multigray level enhancement [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2001, 25(4): 512~514. [王明照, 胡浩, 杨杰. 基于广义模糊集合的多级图像增强算法 [J]. 武汉:武汉理工大学学报, 2001, 25(4): 512~514.]
- 11 GUO Gui-rong. Fuzzy technology in information processing [M]. Changsha: The publishing House of National University of Defense Technology, 1993;189~201. [郭贵容. 信息处理中的模糊技术 [M]. 长沙:国防科技大学出版社, 1993;189~201.]