

一种基于正切图像处理(TIP)模型的图像滤波算法

康 牧 李永亮

(洛阳师范学院信息技术学院 洛阳 471022)

摘 要 传统的图像滤波算法在滤除噪声的同时会丢失一些图像的细节信息,使图像变得模糊,为此提出了一种基于正切图像处理模型的图像滤波算法,算法根据待检测像素周围 3×3 邻域的像素值,利用正切函数和反正切函数进行处理。算法简单、容易实现,能够在有效地抑制噪声的同时,增强和保留图像的边缘和角点等细节信息。通过实验比较可知,该算法明显优于其它图像滤波算法。

关键词 TIP 模型,图像滤波,细节信息,噪声

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Image Filtering Algorithm Based on TIP Model

KANG Mu LI Yong-liang

(Academic of Information Technology, Luoyang Normal University, Luoyang 471022, China)

Abstract Few image details will be lost when noise is filtered in traditional image filtering algorithm. This article put forward an image filtering algorithm based on tangent image process model. This algorithm filters image by using tangent function and arctangent function according to 3×3 neighborhood pixel value of the pixel to be detected. It is simple, and easy to be implemented. Details of image edge and corner can be preserved and enhanced when noise is restrained effectively. The experiment shows that this algorithm is obviously better than other image filtering algorithm.

Keywords TIP model, Image filter, Detail signal, Noise

1 前言

图像在形成、传输、接收和处理的过程中,由于通过的传输介质和接收设备等性能的限制,不可避免地存在着外部干扰和内部干扰,因此会产生各种各样的噪声^[1,2],导致图像呈现出随机分布的、黑白相间的噪声点,极大地降低了图像的质量,给图像的应用和后续处理带来了很大的困难。因此,减少或滤除图像中的噪声是一项重要的研究内容。国内外不少学者对图像滤波进行了大量的理论和应用方面的研究^[3-15],有使用模糊数学理论的^[5,6],有使用非局部均值算法(NLM)的^[7-10],有使用小波理论的^[11-13],有使用三维变换域相关性理论的^[15],也有使用主分量分析(PCA)理论的^[15]。这些研究所提出的滤波器在性能上都比传统的滤波器有一定的改善,但是滤除噪声的要求是:既要去除图像中的噪声,又要尽量保留图像的细节信息。比较常用的滤波算法,如高斯滤波、均值滤波、中值滤波等^[3,4],有算法简单、容易实现等优点,但是在平滑噪声点的同时也会导致图像模糊,损失图像的细节信息。另外,如小波算法、非局部均值算法、主分量分析算法等,虽然滤波效果有些提高,但是算法复杂度太高,不利于在实时图像处理系统中应用。本文提出了一种基于正切图像处理(TIP)模型的图像滤波方法,它根据待检测像素点周围 3×3 邻域的像素值,利用正切函数和反正切函数进行处理,算法简单、容易实现,能够有效地抑制噪声,并可以增强和保留图像的边缘

和角点等细节。与其他算法相比,本文提出的算法适用的范围更广,且具有更好的滤波性能。

2 传统的图像滤波方法^[3,4]

2.1 邻域平均法

邻域平均法是一种空间域局部处理方法。对于位置 (i, j) 处的像素点,其灰度值为 $f(i, j)$,平滑后的灰度值为 $g(i, j)$,则 $g(i, j)$ 由包含 (i, j) 的某个邻域的若干像素的灰度平均值所决定。可用式(1)计算得到平滑像素的灰度值:

$$g(i, j) = \frac{1}{M} \sum_{(x, y) \in A} f(x, y), x, y = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

式中, A 表示以 (i, j) 为中心的某邻域中像素的集合, M 是 A 中像素点的总数。

邻域平均法的平滑效果与所使用的邻域半径有关。半径越大,平滑效果越好,但平滑图像的模糊程度也越大。

邻域平均法的优点在于算法简单、计算速度快,主要缺点是在降低噪声的同时使图像产生模糊,特别是在边缘和细节处,邻域越大,模糊越厉害。

2.2 中值滤波

中值滤波是一种局部平均平滑技术,也是一种非线性滤波。它在实际运算过程中并不需要图像的统计特性,因此使用比较方便。

中值滤波是采用一个含有奇数个点的滑动窗口,用窗口中各点灰度值的中值来替代窗口中心像素点的灰度值。将包

含某个像素点的含奇数个像素点的窗口中的所有像素点,按灰度值排成一个序列 $f_1, f_2, \dots, f_{2n+1}$, 用式(2)求它们的中值:

$$g_i = \text{Med}\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_{2n+1}\} \quad (2)$$

$\text{MED}\{\dots\}$ 表示取序列中值。

中值滤波的优点是可以克服线性滤波器所带来的图像细节模糊,而且对于滤除颗粒噪声脉冲的干扰最为有效。但是它容易丢失图像的细节信息,对于一些细节信息比较多,特别是点、线、尖顶等细节多的图像,不宜采用中值滤波算法。

2.3 高斯(Gauss)滤波

高斯滤波是用一个如式(3)所示的模板对原图像进行卷积运算来达到滤波的目的:

$$h = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

从式(3)可知,由于待检测点像素所对应的权值为4,大于它的邻域像素点所对应的权值,待检测像素点所起的作用大,因此它的去噪效果不是很好。

3 基于正切图像处理(TIP)模型的图像滤波方法

康、王等^[16]根据对数图像处理(LIP)模型提出了一种基于图像增强的图像滤波方法,它在增强图像视觉效果的同时,可以有效地抑制噪声,且各方面的效果都不错。但是该算法需要计算像素的梯度信息、待检测点像素周围 3×3 邻域的像素均值,再将像素均值代入该文中定义的抛物线方程计算自适应阈值,算法复杂度有些高。本文在分析对数图像处理模型的基础上,提出了一种正切图像处理模型,并在此模型的基础上实现了一种图像滤波算法。

正切函数在 $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ 区间内是单调函数,而图像中像素的灰度值是在区间 $[0, 255]$ 上,为了便于进行图像处理,把正切函数自变量的取值范围限制在区间 $(0, \frac{\pi}{4})$ 上,利用正切函数和反正切函数进行图像滤波。具体做法如下:

(1)对于原图像利用式(4)进行归一补运算,得到原图像的归一补图像:

$$\bar{f} = 1 - (f/M) \quad (4)$$

式中, $M=256$, 是像素灰度的最大值 255 加 1, 可以保证归一补图像的像素值在区间 $(0, 1]$ 上。

(2)利用式(5)进行滤波处理:

$$x(i, j) = a \tan^{n \times n} \sqrt{y(i, j)} \quad (5)$$

式中, $a \tan(\cdot)$ 是反正切函数。

$$y(i, j) = \prod_{k=i-n/2}^{i+n/2} \prod_{l=j-n/2}^{j+n/2} \bar{f}(k, l) \quad (6)$$

(3)利用式(7)得到滤波后的归一补图像:

$$\bar{f}'(i, j) = \tan(x^a(i, j)) \quad (7)$$

式中, $\tan(\cdot)$ 是正切函数, a 是不小于 1 的正数。当 a 大于 1 时, 图像将会得到增强。当用于图像滤波时, a 应该取值为 1。

(4)利用式(8)得到滤波后的图像:

$$f(i, j) = (1 - \bar{f}'(i, j)) \times M \quad (8)$$

说明:因为正切函数的自变量取值不能是 $\pi/2$, 所以经过式(4)计算得到的结果一定在区间 $(0, 1]$ 内, 它们经过式(6)计算所得的结果肯定还在区间 $(0, 1]$ 内, 再由式(5)的反正切函

数运算的结果肯定小于或等于 $\pi/4$, 其结果也在区间 $(0, 1]$ 内。为了保证式(7)中的自变量值不等于 $\pi/2$, a 的值一定要大于或等于 1。如果 a 的值小于 1, 则式(7)中正切函数的自变量值就可能会是 $\pi/2$ 。如果 a 的值大于 1, 则图像会在滤除噪声的同时得到增强, 在这里主要是为了滤除噪声, 故让 a 的值等于 1。最后经过式(8)的运算即可得到滤波后的图像。

4 实验结果及分析

用大量图片对本文所提出的基于正切图像处理(TIP)模型的图像滤波算法进行了实验, 实验结果都表明文中算法具有较好的效果。为了更好地比较各图像滤波算法的性能, 现用特别设置的图像——背景是灰度值为 128、内容由水平直线、垂直直线、 45° 直线和 135° 直线组成的图像进行实验。对该图像用高斯(Gauss)滤波法、均值(3×3 邻域)滤波法、中值(3×3 邻域)滤波法和本文中方法进行滤波实验, 实验结果如图 1 所示。

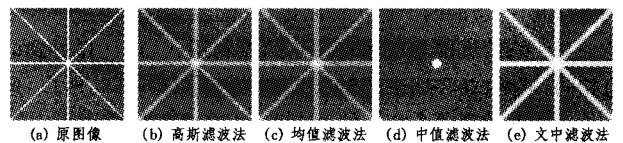


图 1 实验结果 1

4.1 无噪声图像实验结果的分析

因为图 1 中的图片本身不含噪声(特别设置的图像可以保证这一点), 从实验结果中看, 各种算法的噪声滤除效果就无从谈起, 但是可以看出它们对细节信息的影响。高斯滤波法和均值滤波法中线条的亮度明显比原图像中线条的亮度暗, 也就是说高斯滤波法和均值滤波法容易使图像的细节变得模糊。中值滤波法中线条完全没有了, 只剩下中心的一个亮点, 这说明中值滤波法容易丢失图像的细节信息。而本文算法中各线条非常亮, 且看起来变粗了, 这说明本文算法可以增强和保留图像的细节信息。为了更清楚地看到滤波后各线条的宽度及后面对加入噪声的图像验证各算法的效果, 还需要用其它方法加以验证。本文采用的方法是用对噪声敏感的算法来检验各种滤波算法的效果。Canny^[18]边缘检测算法对噪声非常敏感, 它在边缘检测时要经过非极大值抑制, 所得到边缘图像是单像素边缘, 从得到的边缘图像中更容易观察到各种滤波算法对噪声滤除能力的不同。另外, 图像滤波的目的的一方面是提高人眼的视觉感受能力, 另一方面是为后继图像的处理(如图像重构、边缘检测、图像增强、机器自动处理、机器自动识别等)做准备工作, 所以使用 Canny 边缘检测算法对实验所得到的每幅图片进行边缘检测, 以验证各种算法噪声滤除能力的不同, 也有一定的合理性。对图 1 各滤波算法的结果图像, 用 Canny 边缘检测算法检测后得到的边缘图像如图 2 所示。

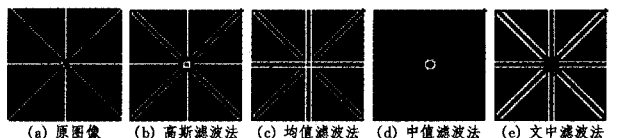


图 2 实验结果 1 的边缘图像

4.2 实验结果 1: 边缘图像的分析

从图 2 中可以清楚地看到, 原图像的边缘是单像素的。

经过滤波后, 高斯滤波法的两条斜线的边缘变为双线的, 而水平和垂直的线段仍然是单像素的。结合对图 1 的分析可知, 高斯法对斜线的模糊度要比水平和垂直直线的模糊度大。均值滤波法和本文方法的所有边缘都是双线的, 结合对图 1 的分析可知, 本文方法是对各条线亮度改变不大(肉眼几乎看不出差别, 通过下面的分析知道它们变化不大)而变宽的结果。均值法则是对各条线亮度进行模糊(变暗)而变宽的结果。下面通过一个实例来分析各算法产生上述边缘的原因。

在图 3 中, 中间的 3 个白色块代表的是垂直直线的一段, 它们的灰度值是 255。两边的灰色块代表像素的灰度值是 128, 是本实验图片中的背景色。对于位于中心位置的那个白色块, 高斯法使用式(3)计算得到的值为 $(255 \times 8 + 128 \times 8) \div 16 = 191.5 \approx 192$, 而中心点左边或右边的灰色块用式(3)计算得到的值则为 $(128 \times 12 + 255 \times 4) \div 16 = 159.75 \approx 160$ 。中心点的灰度值由原来的 255 变为 192, 故亮度降低。而两边的两个点的灰度值较小, 在 Canny 边缘检测算法中要进行非极大值抑制, 两边的两个点被抑制掉, 故在边缘图像中是单像素的。对于均值法中心点和它左右两点利用式(1)计算得到的值相同, 都是 $(255 \times 3 + 128 \times 6) \div 9 = 170.33 \approx 170$, 所以, 原来是单像素灰度值为 255 的垂直直线, 变成了灰度值为 170、宽度为 3 的垂直带状。在 Canny 边缘检测算法中因为它们是带状区域, 故检测到的是双线边缘。而中值法中心点和它左右两点利用式(2)计算得到的值相同, 都是 128, 所有的线条都消失了, 只保留了各线条的交点。而本文算法中心点和它左右两点利用式(4)一式(8)计算得到的值相同, 都是 230.6 $\approx$ 231, 故检测到的是双线边缘。本文算法得到的像素值是 231, 高斯法直线中心的像素值是 192, 而直线两边的像素值是 160, 故图像比本文算法要模糊一些。而均值法整个带状区域的像素值都为 170, 故得到的图像最模糊。对于水平直线和斜线的情况, 分析和计算方法同上面的方法基本相同, 只是白色块的位置和方向不同罢了, 在此不再重复。



图 3 示例图像

对实验 1 中的原图像加入(均值 $\mu=0$, 方差 $\sigma=20$)高斯白噪声后, 重新做上述实验, 各种算法的参数保持不变。实验结果如图 4 所示, 它们的边缘图像如图 5 所示。

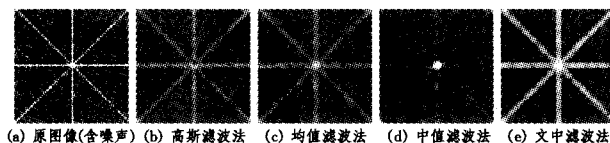


图 4 实验结果 2

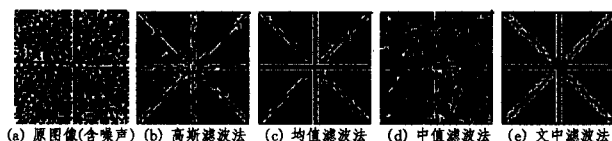


图 5 实验结果 2 的边缘图像

4.3 含噪声图像实验结果的分析

从图 4 中直接观看各滤波算法对细节信息的影响, 可以

得到与图 1 相似的结论。但是从图 5 中可以清楚地看出, 中值法的边缘图像中噪声点非常多, 效果最差; 高斯法的边缘图像中有少数的噪声点, 因为它的待检测点像素对应的权值最大, 影响了滤除噪声的性能, 且水平和垂直边缘有间断不连续的现象, 斜线边缘中有轻微的间断不连续现象; 均值法中几乎没有噪声点, 水平和垂直边缘保留得比较好, 但是两条斜线边缘相对于本文中方法和高斯法要粗糙得多, 且存在比较严重的间断不连续现象; 而本文中算法的边缘图像中也几乎没有噪声点, 水平和垂直边缘也保留得非常好, 这方面与均值法的效果基本相同, 斜线边缘虽然有些小“毛刺”, 不十分光滑, 但是要比高斯法和均值法的斜线边缘光滑得多, 且是连续不间断的。

通过比较实验 1 和实验 2 的结果, 可知本文提出的基于正切图像处理模型的图像滤波算法, 不仅滤除噪声效果比较好, 而且可以增强和保留图像的细节信息, 总体效果是比较理想的。

结束语 本文在分析了高斯(Gauss)滤波算法、均值滤波算法、中值滤波算法及对数图像处理(Log Image Process)模型的基础上, 提出了一种新的图像处理模型——正切图像处理(Tangent Image Process)模型, 并在此模型的基础上, 实现了一种图像滤波算法。该算法简单、易于实现, 不仅能够有效地滤除噪声, 而且能够保留和增强图像的边缘和角点等细节信息。经过实验和理论的分析, 本文算法是一种比较理想的图像滤波算法。

参考文献

- [1] 韩晓微, 范立南, 李浚圣, 等. 一种基于脉冲噪声检测的图像均值滤波方法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 27: 102-104
- [2] 张小义, 陈东, 韩晓广. 基于线性和非线性混合滤波器的噪声抑制技术[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25: 1460-1462
- [3] 李弼程, 彭天强, 彭波, 等. 智能图像处理技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 71-78
- [4] 何东健, 耿楠, 张义宽, 等. 数字图像处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003: 64-73
- [5] 石振刚, 高立群, 葛雯, 等. 一种基于模糊逻辑的图像自适应去噪算法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(6): 777-780
- [6] 冷寒冰, 王先, 刘上乾, 等. 基于人眼视觉特性的邻域自适应模糊增强算法[J]. 光电工程, 2004, 31(1): 62-65
- [7] Mahmoudi M, Sapiro G. Fast image and video denoising via non-local means of similar neighborhoods[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, 12(12): 839-842
- [8] Liu Y L, Wang J, Chen X. A robust and fast non-local means algorithm for image denoising[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2008, 23(2): 270-279
- [9] Tasdizen T. Principal Neighborhood Dictionaries for Non-local Means Image Denoising[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2009, 18(12): 2649-2660
- [10] Tasdizen T. Principal components for non-local means image denoising[C]//Proc. Int. Conf. Image Processing. 2008
- [11] 张艳华, 李玲远. 基于 GCV 理论的小波自适应多阈值图像去噪方法[J]. 现代电子技术, 2007, 250(11): 62-64
- [12] 卜方玲, 徐新. 一种基于小波分析的 SAR 图像斑点噪声滤波算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2001, 26(4): 315-319

Gabor 小波幅值谱的识别率,结果如图 5、图 6 和表 1、表 2 所示。

表 1 CASIA Dataset A 一阶和五阶识别率

	Rank1(%)	Rank5(%)
GEI	95.26	98.33
BGEI	71.88	87.50
GGEI	94.06	97.81
BGGEI	90.63	96.87
Fusion-Rank	96.88	100
Fusion-Score	100	100

表 2 CASIA Dataset B 一阶和五阶识别率

	Rank1(%)	Rank5(%)
GEI	90.10	96.56
BGEI	43.04	55.70
GGEI	88.10	95.56
BGGEI	78.85	90.01
Fusion-Rank	92.58	100
Fusion-Score	95.23	100

4.3 结果分析

(1)BGEI 在小样本的时候具有较高的识别率,它反映了个人的一些身体信息,如果有更好的一些表征方法,这部分的识别率将能提高。

(2)GGEI 反映的是步态的运动信息,与 GEI 相比,维数减少,但是运动信息并没有减少,利用 Gabor 小波提取特征进行识别取得了较高的识别率。

(3)BGGEI 既包含了丰富的静态(如个人的身高比例、胖瘦、耸肩等)信息,也包含了丰富的动态(如手臂晃动幅度、头部摆动幅度、步幅和脚尖脚跟摆动幅度等)信息,利用 BGGEI 进行识别在小数据库上能取得较高的识别率。

(4)基于 Rank 层和 Score 层的融合策略都能取得较高的识别率,特别是基于 Score 层的融合,在小样本数据库上取得了 100% 的识别率,所以本方法在小样本数据库上具有一定的实用性。

结束语 作为可远距离感知的生物特征识别技术之一,步态识别受到越来越多的关注^[14-16]。有效的步态表征方法是步态识别的关键,信息融合是提高步态识别性能的重要手段^[17,18]。本文充分挖掘了步态能量图中的静态和动态信息,把步态能量图分解为包含静态信息的身体相关能量图、包含动态信息的步态相关能量图、包含静态与动态信息的身体步态相关能量图,用傅立叶变换和 Gabor 小波分别提取特征,分别研究了它们的识别能力;最后通过静态和动态信息的融合来进行步态识别,取得了较高的识别率,具有一定的实用性。以后的工作将继续集中在如何更好地对 BGGEI 和 BGEI 这两部分包含的信息进行挖掘及表征。

参 考 文 献

[1] Anil K, Ross A, Prabhakar S. An Introduction to Biometric Rec-

ognition[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 4-20

[2] Murray M, Drought A, Kory R. Walking Patterns of Normal Men[J]. Journal of Bone Joint Surgery, 1964, 46-A: 335-360

[3] Cutting J, Kozlowski L. Recognizing friends by their walk; Gait perception without familiarity cues[J]. Bulletin of the Psychonomic Society, 1977, 9(5): 353-356

[4] Wang Liang, Tan Tie-niu, Ning Hua-zhong, et al. Fusion of static and dynamic body biometrics for gait recognition[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(2): 149-158

[5] Cutting J E, Proffitt D. Gait perception as an example of how we may perceive events[J]. Intersensory perception and sensory integration, 1981: 249-273

[6] Stevenage S V, Nixon M S, Vince K. Visual Analysis of Gait as a Cue to Identity[J]. Applied Cognitive Psychology, 1999, 13(6): 513-526

[7] Lam T H W, Lee R S T, Zhang D. Human gait recognition by the fusion of motion and static spatio-temporal templates[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(9): 2563-2573

[8] Han J, Bhanu B. Individual Recognition Using Gait Energy Image[J]. IEEE Trans. PAMI, 2006, 28(2): 316-322

[9] Persoon E, Fu K S. Shape Discrimination Using Fourier Descriptors[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(5): 388-398

[10] Daugman J G. Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profiles[J]. Vision Research, 1980, 20(1): 847-856

[11] Lades M, Vorbruggen J C, Buhmann J, et al. Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture [J]. IEEE Trans. Computers, 1993, 42(3): 300-311

[12] Marcelja S. Mathematical description of the responses of simple cortical cells[J]. Journal Opt. Soc. Amer., 1980, 70(4): 1297-1300

[13] Phillips P J, Moon H J, Rizvi S A, et al. The FERET Evaluation Methodology for Face-Recognition Algorithms[J]. IEEE PAMI, 2000, 22(10): 1090-1104

[14] Yeoh T-W, Tan W-H, Ng H, et al. Improved Gait Recognition with Automatic Body Joint Identification[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2011, 7066: 245-256

[15] Zhang E, Zhao Yong-wei, Xiong Wei. Active energy image plus 2DLPP for gait recognition[J]. Signal Processing, 2010, 90(7): 2295-2302

[16] Bashir K, Xiang Tao, Gong Shao-gang. Gait recognition without subject cooperation[J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(13): 2052-2060

[17] 王科俊, 侯本博. 步态识别综述[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(7): 1152-1160

[18] 陈昌红, 梁继民, 赵恒, 等. 步态表征和步态融合方法新进展[J]. 计算机科学, 2010, 37(8): 15-20

(上接第 260 页)

[13] 吴颖谦, 方涛, 李聪亮, 等. 一种基于小波分析和人眼视觉特性的图像增强方法[J]. 数据采集与处理, 2003, 18: 17-21

[14] Dabov K, et al. Image Denoising by Sparse 3-D Transform Domain Collaborative Filtering[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16: 2080-2095

[15] Zhang L, Lukac R, Wu X, et al. PCA-based spatially adaptive de-

noising of CFA images for single-sensor digital cameras[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2009, 18(4): 797-812

[16] 康牧, 王宝树. 一种基于图像增强的图像滤波方法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(7): 822-825

[17] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698