

基于多维空间阶跃约束的噪声图像预均衡方法

章 慧,王留洋

(淮阴工学院 计算机工程学院,淮安 223003)

摘 要:为解决多尺度噪声图像平滑易导致图像边缘轮廓以及重要细节特征丢失的问题,提出了一种基于多维空间阶跃约束的噪声图像预均衡方法.该方法首先对噪声图像多尺度几何空间分析,将非线性扩散方程引入多尺度变换域去噪,并利用非线性约束准则对多尺度空间噪声进行预均衡抑制,将去噪问题化归为目标函数的最优化约束解,以最大程度保证噪声对边缘轮廓的干扰最小,在有效去噪的同时更多地保留了图像的边缘信息和细节特征.实验结果表明,无论在主观视觉效果还是峰值信噪比等方面均验证了该方法的有效性.

关键词: 图像去噪;多尺度;均衡;扩散模型;非线性约束

中图分类号: TN929.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)11-0172-04

Pre-equalization Algorithm for Noise Image Based on Multidimensional Space and Step Constraint

ZHANG Hui, WANG Liu-yang

(College of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China)

Abstract: In order to solve the problem that the multi scale image noise smoothing easily lead to the loss of image edge details and important problem, a multidimensional space based on a step constrained noise image pre equalization algorithm is proposed. Analysis of the algorithm for noise image multiscale geometric space, will introduce multiscale transform domain denoising of nonlinear diffusion equations, and the multi-scale space noise suppression using pre equilibrium constrained nonlinear criterion, the denoising problem is transformed into constrained optimization solution of objective function, to maximize the noise interference on the edges, in the effective denoising and retain more edge information and details of images. The experimental results show that, in both the subjective visual effect and peak signal to noise ratio has proved the validity of the algorithm.

Key words: image denoising; multi-scale; equalization; diffusion model; nonlinear constrained

1 引言

数字图像在传输与获取过程中难免受到外界噪声的干扰,导致图像质量严重恶化,甚至丢失图像边缘轮廓以及重要细节特征,给后续研究分析工作带来极大的困扰,因此,图像去噪一直是图像预处理的关键工作.利用非线性扩散偏微分方程来处理多尺度噪声图像,可以将图像去噪平滑问题转换为数学目标函数约束的最优化问题,近年来成为图像去噪新的研究热点^[1-2].

多尺度图像去噪采用非线性扩散方程主要分为两大类:一类是在图像不同的噪声区域内采用不同的去噪方法,即在非轮廓边缘区域加强去噪,而在轮廓边缘区域抑制去噪;另一类是将沿着垂直于轮廓边缘区域方向去噪强度呈递减趋势,即在垂直于边界方向采用不同的去噪强度.上述的非线性扩散去噪方法一定程度上抑制了图像噪声,但极易导致图像去噪效果趋于分段常量的现象,通常称之为图像“阶跃效应”^[3].文献^[4]中将自适应保真项引入多尺度噪声图像抑制,从而可以有效缓解“阶跃效应”,抑

收稿日期:2015-01-23;修回日期:2015-03-16

基金项目:江苏省政策引导类计划(产学研合作)一前瞻性联合研究项目(BY2015051-07)

制了图像的噪声,一定程度上改善了边缘边缘轮廓的提取,但数学最优求解复杂,简记为 APDE 方法;文献[5]中采用四阶偏微分方程的图像去噪方法,虽然高阶偏微分方程去噪能够从理论上保证图像细节的分段光滑,但解空间存在误差,边缘信息易被过度平滑从而导致边缘泄露,且计算量较大,简记为 HPDE 方法;文献[6]中提出了一种自适应约束域的全变差图像去噪,该方法能在减少图像噪声的同时,可以保留丰富的图像边缘纹理特征,但全变差图像适用条件限制严格,不具备通用性,且多尺度变换空间复杂,简记为 CPDE 方法。

本文在研究分析多尺度图像去噪方法的基础上,提出了一种基于多维空间约束的多尺度噪声图像预均衡方法,简记为 PPDE 方法。该方法首先对噪声图像多尺度几何分析,将非线性扩散方程引入多尺度变换域去噪,并利用非线性约束准则对多尺度空间噪声进行预均衡抑制,以最大程度保证噪声对边缘轮廓的干扰,在有效去噪的同时更多地保留了图像的边缘信息和细节特征。

2 多尺度变换

由于小波分析具有良好的时频局部特性使得其广泛应用图像多尺度分析的各个领域,而多尺度几何分析是一种新的多维小波函数空间表示方法,即通过类似小波基函数在两个维度上伸缩和平移。因此,多尺度几何分析继承了小波良好的局部特性,且具有类似小波分析相同几何分析方法^[7]。

设 $f(x, y)$ 表示一个二维图像函数, $\phi(x, y)$ 表示二维的基本小波基函数, $\psi_{a, b_x, b_y}(x, y)$ 表示 $\phi(x, y)$ 的多尺度两个维度上的伸缩和平移函数,则

$$\psi_{a, b_x, b_y}(x, y) = \frac{1}{|a|} \phi\left(\frac{x - b_x}{a}, \frac{y - b_y}{a}\right) \quad (1)$$

式中, b_x 和 b_y 表示在多尺度两个维度上的平移,则二维多尺度几何分析变换为

$$W_f(a, b_x, b_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \psi_{a, b_x, b_y}(x, y) dx dy \quad (2)$$

二维多尺度几何分析逆变换为

$$f(x, y) = \frac{1}{C_\phi} \int_0^\infty \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_f(a, b_x, b_y) \psi_{a, b_x, b_y}(x, y) db_x db_y \frac{da}{a^3} \quad (3)$$

在传统多尺度图像去噪应用中主要存在着图像

噪声的抑制与图像边缘轮廓细节兼顾的矛盾,利用非线性扩散偏微分方程来处理多尺度噪声图像,可以将图像去噪平滑问题转换为数学目标函数约束的最优化问题,因此,广泛应用于图像预处理领域。

3 基于多维空间约束的噪声图像预均衡

3.1 方法的描述

虽然多尺度几何分析变换因具有诸多优点被广泛应用于图像处理领域,成为继傅里叶变换之后图像处理领域重要的分析工具^[8]。但是,由于多尺度几何分析图像去噪只能反映信号的零维奇异性,不能很好地表示多维图像中多方向性的边缘和纹理等空间几何特性,因此,多尺度几何分析并不是最优的图像去噪方法。偏微分方程非线性扩散方法在图像处理领域有着非常广泛的应用,偏微分方法不但能够较好地抑制噪声,在有效去噪的同时更多地保留了图像的边缘信息和细节特征。

非线性扩散偏微分方程数学模型如下^[9]:

$$\begin{cases} \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \operatorname{div} [g(|\nabla I|) |\nabla I|] \\ I(x, y, 0) = I_0(x, y) \end{cases} \quad (4)$$

式中, $I(x, y, t)$ 表示三维图像函数, div 表示扩散计算, ∇ 表示噪声梯度, $g(|\nabla I|)$ 表示非线性扩散系数,则数学表达式为

$$g(|\nabla I|) = \frac{1}{1 + |\nabla I|^2 / K^2} \quad (5)$$

式中, K 为扩散常数,且满足 $g(|\nabla I|)$ 恒大于零, $|\nabla I|$ 趋于无穷大时,扩散系数趋近于 0, $|\nabla I|$ 趋于零时,扩散系数趋近于 1。非线性扩散偏微分方程中的扩散系数依赖于图像边缘轮廓与重要细节特征,反映图像梯度模值变化趋势,即非线性扩散系数在图像非边缘区域可以自动调节增大,可以有效抑制噪声图像平滑度,而在图像的边缘区域,非线性扩散系数可以自动调节变小,在有效去噪的同时更多地保留了图像的边缘信息和细节特征,但非线性扩散系数自动调节需要根据一定的数学优化函数来求解,故将去噪问题化归为目标函数的最优化约束问题,。

3.2 非线性约束优化

非线性扩散模型对图像边缘轮廓及重要细节特征区域处能够很好自适应调节扩散系数,可以有效抑制图像干扰噪声,但由于非线性偏微分方程的泛函求解集包含在整个噪声图像,同时一般的非线性

扩散模型不具有对噪声反扩散作用,易造成一定程度上视觉边缘轮廓及重要细节的丢失与类似峰值信噪比的阶跃效应.将非线性约束优化准则引入偏微分方程图像去噪当中,将去噪问题化归为目标函数的最优化约束解问题^[10].则非线性约束数学表达为

$$\min_u \{TV(u) + \lambda \|u - \tilde{u}\|^2_{L^2(\Omega)}\} \quad (6)$$

式中, λ 为扩散系数; $TV(\cdot)$ 为差动函数.非线性扩散图像 $u \in L^2(\Omega)$, 其差动函数为

$$TV(u) = \int_{\Omega} |\nabla u| dx \quad (7)$$

式中, $\Omega \subset R^2$ 表示图像变换域全集,则最优化约束求解项为

$$\min_u \left\{ \int_{\Omega} |\nabla u| dx + \lambda \|u - \tilde{u}\|^2_{L^2(\Omega)} \right\} \quad (8)$$

图像边缘和纹理区域,采用变换域自适应收缩法对其进行去噪,自适应收缩函数定义如下:

$$S_{\tau}(x) = \text{sign}(x) \cdot \max(x - \sigma_n^2 \sqrt{2}/\sigma_x, 0) \quad (9)$$

式中, $\text{sign}(\cdot)$ 为符号函数; σ_x 为 x 的均方差.对于平滑区域,采用约束的极小化变分法进行去噪:

$$\text{argmin}_{u \in \Omega} \{TV(u)\} \quad (10)$$

由于式中目标函数是凸函数,且可行域 Ω 也是凸的,因此可利用投影梯度下降法对其求解,可以容易求出目标函数最优解.

3.3 方法步骤

为了在图像去噪的同时有效地保护图像边缘轮廓等图像细节特征,本文利用多尺度小波变换分析,构造图像的多尺度空间表示,将非线性扩散滤波方程应用到图像小波域中,提出一种基于多维空间约束的噪声图像预均衡方法.本文所提出的方法具体执行步骤如下:

(1)首先,对噪声图像进行多尺度变换小波域空间表示,并在变换域空间子集中将几何空间分解成低频二维小波子带与高频二维小波子带;

(2)然后,对低频二维小波子带与高频二维小波子带进行非线性扩散方程多尺度图像去噪,并记录非线性扩散系数;

(3)次之,利用非线性约束准则对多尺度空间噪声进行预均衡抑制,以最大程度保证噪声对边缘轮廓的干扰;

(4)再次,利用多尺度逆变换对低频二维小波子带与高频二维小波子带,从多尺度空间重构原始图像;

(5)最后,结合非线性扩散模型对噪声图像进行去噪,从而得到最终去噪图像,在有效去噪的同时更多地保留了图像的边缘信息和细节特征.

该方法基本思想利用非线性扩散方程引入多尺度变换域去噪,并利用非线性约束准则对多尺度空间噪声进行预均衡抑制,以最大程度保证边缘轮廓,再在多尺度噪声图像频率进行噪声均衡抑制,在有效去噪的同时更多地保留了图像的边缘信息和细节特征.不但能够较好地抑制噪声,而且能够保留图像原有的边缘和纹理等特征.

4 实验结果与性能分析

为验证本文所提出方法的有效性,仿真实验条件设置如下,采用标准图像库灰度图像,对其加入不同信号比的混合噪声(高斯白噪声与椒盐噪声)进行仿真实验,信噪比(PSNR)=20 dB.论文对 APDE 方法、HPDE 方法、CPDE 方法以及本文提出的 PPDE 实验仿真比较实验.图 1 中给出了噪声方差为 20 时各种方法去噪效果比较,从仿真实验结果容易得出,本文提出的去噪方法要优于其它方法,它在去除图像噪声的同时较好地保留边缘信息,尤其在图像细节及边缘特征方面获得了较好的视觉效果.

图像去噪评价效果常用峰值信噪比 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) 来衡量好坏,单位为 dB,表 1 给出了不同噪声方差情况下不同去噪方法 PSNR 比较,从仿真实验结果容易得出,本文方法获得峰值信噪比要优于其它方法,无论在主观视觉效果还是峰值信噪比等方面均验证了该方法的有效性.

表 1 不同噪声方差下不同去噪方法 PSNR 比较

噪声方差	APDE	HPDE	CPDE	PPDE
5	32.56	33.26	33.52	34.47
10	29.14	30.14	30.34	31.56
15	27.32	28.13	28.34	29.48
20	25.86	26.85	27.13	28.19

5 结束语

本文在分析研究多尺度图像去噪方法基础上,针对多尺度噪声图像平滑易导致图像边缘轮廓以及重要细节特征丢失的问题,将非线性偏微分方程引入图像多尺度空间去噪,提出了一种基于多维空间



图1 噪声方差为20时各种方法去噪效果

约束的多尺度噪声图像预均衡方法. 该方法首先对噪声图像多尺度几何分析, 将非线性扩散方程引入多尺度变换域去噪, 并利用非线性约束准则对多尺度空间噪声进行预均衡抑制, 以最大程度保证噪声对边缘轮廓的干扰, 在有效去噪的同时更多地保留了图像的边缘信息和细节特征.

参考文献:

- [1] Perona P., Malik J.. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629-639.
- [2] 贾迪野, 黄凤岗, 苏茜. 一种新的基于高阶非线性扩散

的图像平滑方法[J]. 计算机学报, 2005, 30(5): 204-209.

- [3] De-An Huang, Li-Wei Kang, Wang, Y-C F, et al. Self-learning based image decomposition with applications to single image denoising[J]. IEEE Transactions on Multimedia 2014, 16(1): 83-93.
- [4] Wangmeng Zuo, Lei Zhang, Chunwei Song, et al. Gradient histogram estimation and preservation for texture enhanced image denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(6): 2459 - 2472.
- [5] 朱立新, 王平安, 夏德深. 引入耦合梯度保真项的非线性扩散图像去噪方法[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(8): 1390-1398.
- [6] Zhang L, Li X, Zhang D. Image denoising and zooming under the linear minimum mean square-error estimation framework[J]. IET Image Processing, 2012, 6(3): 273-283.
- [7] Peihua Qiu, Mukherjee P S. Edge structure preserving 3D image denoising by local surface approximation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(8): 1457-1468.
- [8] Nercessian S C, Panetta K A, Agaian S S. Non-linear direct multi-scale image enhancement based on the luminance and contrast masking characteristics of the human visual system[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(9): 3549-3561.
- [9] 王相海, 张洪为, 王爽. 一种小波变换模极大值的扩散模型[J]. 中国图象图形学报, 2011, 20(06): 302-308.
- [10] De Nigris D, Collins D L, Arbel T. Multi-modal image registration based on gradient orientations of minimal uncertainty[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2012, 31(12): 2343-2354.

作者简介:

章 慧 (1970-), 女, 硕士, 教授. 研究方向为计算机应用. E-mail: 1837856321@qq.com.