

基于数据融合的多尺度图像去噪方法

王 文¹ 芮国胜¹ 邢福成¹

(1 海军航空工程学院电子工程系, 烟台市二马路 188 号, 264001)

摘 要: 将图像系数尺度内相关模型较强的去噪能力与尺度间相关模型保持边缘的优越性能相结合, 提出了 | 种新的基于数据融合的多尺度图像去噪方法。同时引入了 | 种新的基于结构相似性(SSIM) 指数的图像质量标准来衡量初始去噪图像和融合后图像与原始图像的相似程度, 评估图像保持边缘和去噪的能力。仿真结果表明, 基于数据融合的方法具有更好的视觉效果和去噪性能。

关键词: 数据融合; 尺度内相关模型; 尺度间相关模型; 去噪; SSIM 指数

中图分类号: TP753; P237.3

在过去的十几年中, 小波变换几乎已成为图像处理的标准变换, 这在一定程度上是由于小波变换对图像的去相关性引起的, 故又将小波变换称为近 K-L 变换^[1]。但是, 在图像小波系数间仍然存在着重要的相关性, 人们将其分为尺度间相关模型^[2,3]、尺度内相关模型^[4,6]和混合相关模型^[7,8]。基于这些模型, 人们提出了许多不同的图像去噪方法, 如基于隐马尔可夫树(HMT)模型^[3](该模型是典型的尺度间相关模型, 其主要特征见文献[9])和基于局部高斯比例混合(LGSM)模型的去噪算法。但实验表明, 采用混合相关模型并不会比尺度内模型得到更多的增益, 且计算更复杂; 而且, 就峰值信噪比(PSNR)而言, 尺度内模型通常要好于尺度间模型, 但尺度内模型主要基于邻域操作, 使得去噪图像存在较多的视觉缺陷, 相比之下, 尺度间模型对图像的结构信息描述较好, 但去噪效果不太理想。为解决这个问题, 本文提出了一个新的基于数据融合的方法, 将尺度间模型和尺度内模型的优势相结合, 得到了更好的去噪效果。

1 图像融合

到目前为止, 图像融合主要应用于各领域的多传感器数据融合, 如遥感应用中红外与可见光图像的融合, 医学成像和军事应用中的图像融合等。图像融合的目的是要得到适合人类视觉观

测、目标检测和目标识别的新图像。融合主要发生在信号层、像素层、特征层和符号层^[10]。本文采用了基于像素层的图像融合算法, 即进行小波逆变换之前, 对去噪后的小波系数进行融合。

对大多数基于小波变换的图像融合而言, 通常采用基于区域最大值的选择方法进行特征选取。但在此, 尽管基于 HMT 模型的去噪算法具有更好的边缘保持能力, 但由于仍然保留了大量的噪声, 使得去噪后的系数较基于 GSM 模型去噪后的系数要大, 如果仍采用最大值选取准则, 就会保留较多的噪声。因此, 为了得到更好的效果, 本文提出了针对图像去噪的特殊融合准则: 在小波分解的最稀疏层低频子带, 将两幅图像的相应系数进行平均, 以便在去噪和保留边缘之间进行折衷(为尽量保留图像结构特征, 小波分解层数不宜过大, 实验表明, 对 512×512 大小的图像分解 4 层效果较好)。在图像的其他子带, 选取最小值, 以便更好地去除噪声。

2 仿真结果与分析

通常情况下, 人们采用信噪比(SNR)或峰值信噪比(PSNR)对不同方法的去噪性能进行评估。PSNR 定义为:

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{255^2}{E\{[x(i,j) - y(i,j)]^2\}} \quad (1)$$

式中, x 表示原始无噪图像; y 表示待评估图像。

上述标准只是各图像相应点的差值运算, 无法衡量去噪图像和原始图像间的结构相似性特征。为解决该问题, 引入了一个新的图像质量测量标准——结构相似性(SSIM)指数, 定义为^[11]:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (2)$$

式中, $l(x, y)$ 表示两幅图像的亮度比较值; $c(x, y)$ 是对比度比较函数; $s(x, y)$ 表示结构比较函数。式(2)涵盖了较 PSNR 更多的信息量, 从而可以得到比 PSNR 更好的质量评估效果, 相关细节可参见文献[11]。在此, 设 $\alpha = \beta = \gamma$ 。

表1 Lena和Peppers图像去噪前后的SSIM指数和PSNR值
Tab. 1 Values of SSIM_index and PSNR for Lena and Peppers

	σ	SSIM_index			PSNR		
		10	30	50	10	30	50
Lena 图像	含噪图像	0.614 5	0.220 5	0.112 9	28.130 8	18.588 4	14.151 4
	GSM 滤波	0.886 5	0.785 5	0.725 5	34.086 2	28.932 5	26.698 7
	HMT 滤波	0.885 0	0.703 5	0.593 6	33.900 2	28.298 7	26.027 7
	融合图像	0.893 2	0.796 8	0.738 2	34.145 7	29.103 4	26.903 7
Peppers 图像	含噪图像	0.613 4	0.214 1	0.109 2	28.130 8	18.588 4	14.151 4
	GSM 滤波	0.851 4	0.755 4	0.707 7	33.547 2	28.455 1	26.330 0
	HMT 滤波	0.857 3	0.666 7	0.555 3	33.310 6	27.733 6	25.380 1
	融合图像	0.861 3	0.773 2	0.722 2	33.469 7	28.719 5	26.448 9
	均值融合	0.868 4	0.752 8	0.680 8	34.099 1	28.889 5	26.608 8

PSNR 值或 SSIM 指数, 本文方法都要明显好于融合前的任一去噪图像, 从而再次证明了方法的有效性; 而对 Peppers 图像, 融合后图像的 SSIM 值优于融合前图像, 但 PSNR 值较 GSM 方法要小 ($\sigma = 10$)。这表明对不同图像, 其 PSNR 和 SSIM 指标值并不总是一致的, 即存在 PSNR 值较大而 SSIM 值偏小及 SSIM 较大而 PSNR 值较小的情况(如表 1 中 Peppers 的性能值), 这主要是由于 PSNR 仅考虑强度变化, 而 SSIM 指标从人类视觉出发, 除考虑了像素强度差别外, 还综合考虑了对比度及结构相似度信息, 因此得到了比较可靠的、更适于人眼观察的结果。

从图 1 可以看到, 图 1(d) 中基于 GSM 模型的去噪图像在边缘处出现了失真, 如背景中的柱子等处; 图 1(e) 中基于 HMT 的去噪图像则明显地存在大量噪声, 但对图像的边缘保持较好; 融合后的图像(图 1(c)) 则表现出比图 1(d) 和 1(e) 更好的去噪和保持边缘的能力。

实验还发现, 当噪声方差较小时, 10 幅图像中有 3 幅采用 HMT 方法的滤波效果较 GSM 方法稍好, 即其 SSIM 指标值稍大(如表 1 中 Peppers 性能值)。此时, 若仍采用前面的融合准则, 其效果可能还不如融合前图像, 而取小波系数的均值, 即综合利用尺度间和尺度内信息会得到更好



图1 $\sigma = 30$ 时 Lena 图像的去噪和融合结果

Fig. 1 Effect of Denoised and Fused Lena for $\sigma = 30$

的效果;当噪声方差增大时,由于基于 HMT 方法的滤波效果普遍没有 GSM 方法好,采用给出的融合准则,即选取小波系数的最小值,可以得到去噪效果和边缘保持能力更好的融合图像(见表 1 中 Peppers 的均值融合项)。

参 考 文 献

- [1] Liu J, Moulin P. Information-theoretic Analysis of Interscale and Intrascale Dependencies Between Image Wavelet Coefficients[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(11): 1 647-1 658
- [2] Shapiro J M. Embedded Image Coding Using Zero-trees of Wavelet Coefficients[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1993, 41(12): 3 445-3 462
- [3] Crouse M S, Nowak R D, Baraniuk R G. Wavelet-based Statistical Signal Processing Using Hidden Markov Models[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1998, 46(4): 886-902
- [4] LoPresto S, Ramchandran K, Orchard M T. Image Coding Based on Mixture Modeling of Wavelet Coefficients and a Fast Estimation-quantization Framework[C]. Data Compression Conference'97, Snowbird, Utah, 1997
- [5] Zhang H, Nosratinia A, Wells R O. Image Denoising Via Wavelet-domain Spatially Adaptive FIR Wiener Filtering [C]. IEEE ICASSP, Istanbul, Turkey, 2000
- [6] Mihcak M K, Kozintsev I, Ramchandran K, et al. Low-complexity Image Denoising Based on Statistical Modeling of Wavelet Coefficients[J]. IEEE Signal Processing Letters, 1999, 6(12): 300-303
- [7] Pizurica A, Philips W, Lemahieu I, et al. A Joint Inter- and Intrascale Statistical Model for Bayesian Wavelet Based Image Denoising [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2002, 11(5): 545-557
- [8] Portilla J, Strela V, Wainwright M, et al. Image Denoising Using Scale Mixture of Gaussians in the Wavelet Domain[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2001, 12(11): 1 338-1 351
- [9] Venkatachalam V, Choi H, Baraniuk R. Multiscale SAR Image Segmentation Using Wavelet-domain Hidden Markov Tree Models[C]. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. Orlando, FL, USA, 2000
- [10] Li H, Manjunath B S, Mitra S K. Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform [J]. Graphical Models and Image Processing, 1995, 57(3): 235-245
- [11] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2004, 13(4): 600-612

第一作者简介:王文,博士生。研究方向为小波变换及图像处理。
E-mail: wangwenhy@163.com

A Novel Multiscale Image Denoising Algorithm Based on Image Fusion

WANG Wen¹ RUI Guosheng¹ XING Fucheng¹

(1 Department of Electronic Engineering, Naval Aeronautical Engineering Academy, 188 Erma Road, Yantai 264001, China)

Abstract: A novel multiscale image denoising method based on image fusion is proposed, which combines high denoising ability of the intrascale statistical model with better performance of edge preservation of the interscale model. And we introduce a novel image assessment measure based on structural similarity (SSIM) index to evaluate the equality of original denoised images and fusion image. Simulation results show that the proposed method has better visual effect and high denoising quality.

Key words: data fusion; intrascale model; interscale model; denoising; SSIM index

About the first author: WANG Wen, Ph. D candidate, engaged in wavelet transform and image processing.

E-mail: wangwenhy@163.com