

基于稀疏分解的图像去噪

尹忠科¹, 解梅², 王建英¹

(1. 西南交通大学信息科学与技术学院 成都 610031; 2. 电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】基于稀疏分解的图像去噪处理是将被噪声污染的图像分解成图像的稀疏成分和其他成分。稀疏成分对应于图像中的有用信息,其他成分对应于图像中的噪声。由图像的稀疏成分重建图像,可达到去除图像噪声的目的。实验结果表明基于稀疏分解的图像去噪处理具有一定的效果。

关键词 图像处理; 图像去噪; 稀疏分解; 峰值信噪比
中图分类号 TN911.7; TP391.4 文献标识码 A

Image Denoising Based on Its Sparse Decomposition

YIN Zhong-ke¹, XIE Mei², WANG Jian-ying¹

(1. School of Info. Sci. & Tech., Southwest Jiaotong University Chengdu 610031;
2. School of Electronic Engineering, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

Abstract Image denoising method based on image sparse decomposition is different from the traditional image denoising methods. In this method, image corrupted by noise is decomposed into two parts. One part is the image sparse components which are related to image information. Another part, which remains after the image sparse components are subtracted from the image, is regarded as noise. Image can be denoised by reconstructing image only with its sparse components. Experimental results show the good performance of this method.

Key words image processing; image denoising; sparse decomposition; peak signal-to-noise ratio

大部分常用的传统图像去噪方法基于以下假设:在含有噪声的图像中,有用信息部分的频率较低,而噪声的频率较高。但实际上此假设条件并不总是成立的。一方面,图像中的细节和边缘等有用信息部分含有高频分量;另一方面,噪声虽然以高频成分为主,但也含有低频成分。因此,图像中的有用信息部分和噪声往往在频带上存在重迭,这是造成基于有用信息和噪声频率特性差别的传统去噪方法存在缺陷的根本原因。基于图像稀疏分解的图像去噪方法,将图像中的有用信息部分作为图像中的稀疏成分,而将图像中的噪声作为图像去除其中稀疏成分后得到的残差,并以此作为图像去噪处理的基础。

1 图像稀疏分解

文献[1]提出了信号在过完备库上分解的思想。通过信号在过完备库上的分解,信号的基可以自适应地根据信号本身的特点灵活选取。信号分解后可得到一个非常简洁的表达,即稀疏表示(Sparse Representation),其过程称为信号的稀疏分解。文献[2]提出了图像稀疏分解的MP(Matching Pursuit)方法。目前针对图像的稀疏分解已经发展了多种算法,最常用的还是MP算法。图像稀疏分解已被成功应用于图像处理的多个方面,如图像压缩、图像去噪和图像识别等^[2-5],引起了很多研究人员的重视,形成对图像稀疏分解研究的一个热潮。2003年国际图像处理年会首次对图像稀疏分解进行专门讨论。瑞士联邦高工的Pierre Vandergheynst教授主持此次讨论时指出,图像稀疏分解在图像处理中的应用具有巨大的潜力^[6]。

假设研究的图像为 f ,图像大小为 $M_1 \times M_2$, M_1 和 M_2 分别为图像的长和宽。若将图像分解在一组完备正交的基上,则这组基的数目应为 $M_1 \times M_2$ 。由于基的正交性,在由图像所组成的空间中的分布是稀疏的。

收稿日期:2004-04-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60602043);教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(教外司[2004]517号);四川省重点科技计划资助项目(04GG021-020-5、2006X15-038);四川省应用基础研究项目(04JY029-059-2;2006J13-114)

作者简介:尹忠科(1969-),男,博士,教授,主要从事信号与信息处理、图像处理方面的研究。

图像的能量在分解以后将分散分布在不同的基上, 这种能量分布的分散将导致用基的组合来表示图像时, 表达不简洁。即图像表示不是稀疏的, 这不利于图像的处理, 如识别和压缩等。为了得到图像的稀疏表示, 基的构造必须使基在图像组成的空间中足够密, 基的正交性不再得到保证, 所以此时的基也不再是真正意义上的基了, 而改称为原子。由这些原子组成的集合是过完备的, 称为过完备库(Over Complete Dictionary of Atoms)。图像在过完备库上的分解结果一定是稀疏的^[1-2]。

设 $D = \{g_\gamma\}_{\gamma \in \Gamma}$ 为用于进行图像稀疏分解的过完备库, g_γ 为由参数组 γ 定义的原子; Γ 为参数组 γ 的集合。用不同的方法构造原子, 参数组 γ 所含有的参数及参数个数也不一样。原子 g_γ 的大小与图像本身大小相同, 但原子应作归一化处理, 即 $\|g_\gamma\| = 1$ 。由库的过完备性可知, 参数组 γ 的个数应远远大于图像的大小, 即若用 P 表示过完备库 $D = \{g_\gamma\}_{\gamma \in \Gamma}$ 中原子的个数, 则 $P \gg M_1 \times M_2$ 。通过图像稀疏分解, 可以得到图像的一个线性表示为^[2]:

$$f = \sum_{k=0}^{\infty} \langle R^k f, g_{\gamma_k} \rangle g_{\gamma_k} \quad (1)$$

式中 $\langle R^k f, g_{\gamma_k} \rangle$ 表示图像 f 或图像的残余 $R^k f$ 在对应原子 g_{γ_k} 上的分量。因为 $\|R^n f\|$ 的衰减特性^[1-2], 用少数的原子(与图像大小相比较而言)就可以表示图像的主要成分, 即:

$$f \approx \sum_{k=0}^{n-1} \langle R^k f, g_{\gamma_k} \rangle g_{\gamma_k} \quad (2)$$

式中 $n \ll M_1 \times M_2$ 。式(2)和条件 $n \ll M_1 \times M_2$ 集中体现了稀疏表示的思想。

2 基于稀疏分解的图像去噪

与大部分常用的传统图像去噪方法不同, 基于图像稀疏分解的图像去噪, 不是将图像中的信息和噪声从频率上将其分开, 而按照是否是图像中的稀疏成分将图像中的信息和噪声分开。

由式(1)、(2)可知, 图像由两部分组成:

$$f = f_s + f_n \quad (3)$$

式中

$$f_s = \sum_{k=0}^{n-1} \langle R^k f, g_{\gamma_k} \rangle g_{\gamma_k} \quad (4)$$

$$f_n = \sum_{k=n}^{\infty} \langle R^k f, g_{\gamma_k} \rangle g_{\gamma_k} \quad (5)$$

式中 f_s 为图像的稀疏成分; f_n 为图像中的其他成分, $f_n = f - f_s$ 即图像中去除稀疏成分后的残差部分。基于图像稀疏分解的图像去噪方法近似认为, 图像中的稀疏成分对应于图像中的有用信息, 而图像中的其他成分则对应于图像中的噪声。

传统的图像去噪是直接从图像中去除噪声。与此不同, 基于图像稀疏分解的图像去噪方法是先从图像中提取出图像的稀疏成分, 然后利用图像的稀疏成分重建图像, 则重建的图像即为去除噪声后的图像。

由式(3)~(5)可知, 图像的稀疏成分和图像中的其他成分具有相对性, 这体现在上述公式中的 n 没有明确的取值, 要根据图像的噪声情况而定。这一特点与图像中的有用信息和噪声具有相对性一致。

3 实验结果与分析

在实验中采用 256×256 大小的Lena图像, 含有噪声的图像由Lena图像加上一个随机噪声图像获得。图像的稀疏分解采用MP算法, 过完备库采用非对称原子库^[7]。图1是原始Lena图像, 图2是合成的含有噪声的Lena图像, 图3是基于图像稀疏分解的去噪处理结果, $n = 1000$ 。 P_{SNR} 表示含有噪声图像或处理后图像与原始标准Lena图像的峰值信噪比, 图2中 $P_{\text{SNR}} = 22.4$ dB, 图3中 $P_{\text{SNR}} = 27.0$ dB。从图3可以看出, 该方法对去除有机噪声有较好的效果。但经过处理后, 图像本身的有用信息也有一定程度的损失。基于图像稀疏分解的图像去噪, 其处理结果依赖于 n 的选择。 n 越大, 对图像中有用信息的保持越好, 噪声也越容易被保存下来; 另一方面, n 越大, 计算时间越长, 即计算量较大, 这是该方法的最大缺点。



图1 原始Lena图像



图2 含噪声Lena图像



图3 去噪后Lena图像

本文研究工作得到了国家留学基金委、瑞士奖学金委员会的联合资助，并得到Pierre Vandergheynst教授的指导和帮助，在此表示感谢。感谢西南交通大学基金资助。

参 考 文 献

- [1] Mallat S, Zhang Z. Matching pursuit with time-frequency dictionaries[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1993, 41(12): 3397-3415.
- [2] Bergeau F, Mallat S. Matching pursuit of images[C]//Proceedings of IEEE-SP, Philadelphia, 1994.
- [3] Neff R, Zakhor A. Very low bit-rate video coding based on matching pursuit[J]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech., 1997, 7(1): 158-171.
- [4] Phillips P. Matching pursuit filter design[C]//Proceedings of the 12th IAPR International Conference on SP., Jerusalem Israel, 1994, 3: 57-61.
- [5] 傅 霆, 尧德中. 稀疏分解的加权迭代方法及其初步应用[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 34-37.
- [6] SESSION MA-S2: Redundant representations for visual communications[C]//Proceedings of IEEE ICIP, Barcelona, Spain, 2003, 3: 33-64.
- [7] Vandergheynst P, Frossard P. Efficient image representation by anisotropic refinement in matching pursuit[C]//Proceedings of IEEE on ICASSP, Salt Lake City, 2001, 3: 1757-1760.

编 辑 黄 莘

(上接第871页)

4 结 论

本文根据SCM复用光标签交换技术的特点，提出了一种全光再生节点结构。通过搭建仿真系统，得到了再生前与再生后SCM标签信号和负载信号的频谱图以及时域的波形图。通过比较，可以看到，该种再生节点保持了分组信号频谱的稳定性，避免了串扰的产生，同时对劣化的信号具有很好的再生效果。因此，该节点可应用于副载波复用标签交换系统中。

参 考 文 献

- [1] Chi Nan, Zhang Jian-feng, Jeppesen P. All-optical subcarrier labeling based on the carrier suppression of the payload[J]. Photonics Technology Letters, 2003, 15: 781-783.
- [2] Jeon M Y, Pan Z, Cao J, et al. Demonstration of all-optical packet switching routers with optical label swapping and 2R regeneration for scalable optical label switching network applications[J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21: 2723-2733.
- [3] Carena A, Vaughn M D, Gaudino R, et al. Opera: An optical packet experimental routing architecture with label swapping capability[J]. Journal of Lightwave Technology, 1998, 16: 2135-2145.
- [4] Wolfson D, Hansen P B, Kloch A, et al. All-optical 2R regeneration at 40 Gbit/s in an SOA-based mach-zehnder interferometer[C]//OFC/IOOC'99, California, 1999.

编 辑 孙晓丹