

# 一种基于视觉特性的图像盲去模糊方法

蒋金山<sup>1,2</sup> 余英林<sup>2</sup> 陆子强<sup>1</sup> 郭国雄<sup>1</sup>

(华南理工大学应用数学系 广州510641)<sup>1</sup> (华南理工大学电子与信息工程学院 广州510641)<sup>2</sup>

## A Blind Image-Deblurring Method Based on Visual Characteristics

JIANG Jin-Shan<sup>1,2</sup> YU Ying-Lin<sup>2</sup> LU Zi-Qiang<sup>1</sup> GUO Guo-Xiong<sup>1</sup>

(Dept. of Applied Mathematics, South China University of Technology, Guangzhou 510641)<sup>1</sup>

(College of Electronical and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, 510641)<sup>2</sup>

**Abstract** In many various image-deblurring methods, Visual Characteristics are not considered. This paper proposes an image-deblurring method based on the frequency and direction characteristics of human visual system by weighting high frequency subband of blurred image's wavelet transformation, the enhanced blurred image in high frequency is obtained through wavelet anti-transformation, and the blind deblurred method is used to restore image from the enhanced blurred image, the restored image is well improved in visual quality.

**Keywords** Image deblurring, Wavelet transformation, Visual weighting

### 1. 引言

基于视觉特性的图像处理技术越来越受到人们的关注,例如:基于视觉特性的图像编码<sup>[1,2,4]</sup>,图像融合<sup>[3]</sup>等,主要是因为传统的图像处理方法考虑了图像像素的统计特性,利用像素之间的统计冗余达到压缩的目的,或者利用像素的灰度分布实现图像的增强等。实际上,对图像处理的最终结果进行评价的主体是人,统计特性好的图像其视觉效果未必理想。因此,在进行图像处理时如果能够在充分利用图像统计特性的同时考虑人眼的视觉特性,对改善图像处理结果的主观质量和客观质量无疑是可取的。本文正是基于这个观点,提出了一种在考虑人眼视觉特性的前提下图像去模糊方法。图像模糊的实质就是其高频信息受到了损失,因此对模糊图像进行去模糊就是恢复已失去的高频信息,使结果图像更趋合理,但是模糊图像中的高频信息并未全部损失,否则的话,模糊图像也就不能称之为图像了,只不过其高频信息相对于低频信息能量很小,从而大大地降低了其视觉效果或者分辨率。本文的基本思想是,在对模糊图像去模糊之前,先利用小波变换对图像进行多阶分解,然后对每一次分解后的各个子带的小波变换系数依据视觉数据模型进行视觉加权,再进行逆小波变换得到一幅高频信息增强的模糊图像(相对于原始模糊图像而言),在此基础上运用盲去模糊方法恢复图像,结果图像在视觉质量方面有显著的提高。

### 2. 图像的小波变换

小波变换是一种新的变换分析方法,它的主要特点是通过变换能够充分突出问题某些方面的特征,如时频局部化特征,被誉为“数学显微镜”,此外,小波变换还有 Mallat 快速算法,因此,小波变换在许多领域都得到了成功的应用,尤其是在信号处理领域可用于多分辨率分析。图像的小波变换是二维

小波变换,对图像每进行一次小波变换的结果都是把图像分解为如图1所示的4个子带图像,每一个子带图像的分辨率是原图像或者上一次分解后的低频子带图像分辨率的1/2。

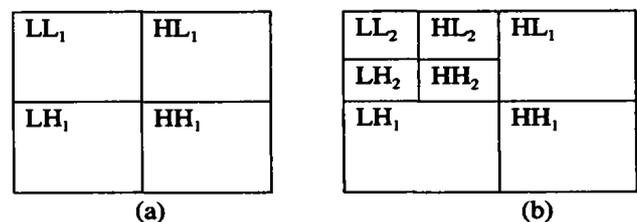


图1 小波变换产生的子带(图像)

所以,每进行一次小波变换得到4个子带图像,进行M次变换就可以得到 $3M+1$ 个子带图像。其中处于同一阶的子带图像(如LL<sub>2</sub>、HL<sub>2</sub>、LH<sub>2</sub>和HH<sub>2</sub>)称为同尺度子带,处于不同阶但频率范围成比例变化的子带图像(如HL<sub>2</sub>与HL<sub>1</sub>,LH<sub>2</sub>与LH<sub>1</sub>,HH<sub>2</sub>与HH<sub>1</sub>)称为同方向子带,它们对应原图像中相同方向的纹理和边缘结构。其中HL<sub>2</sub>与HL<sub>1</sub>对应着原图像垂直方向的纹理和边缘结构,LH<sub>2</sub>与LH<sub>1</sub>对应原图像水平方向的纹理和边缘结构,HH<sub>2</sub>与HH<sub>1</sub>对应原图像对角方向的纹理和边缘结构。逆小波变换是小波变换的逆过程,先对最低频子带插零值,然后用低通滤波器 $g_0$ (对应综合尺度函数)和高通滤波器 $g_1$ (对应综合小波)分别对行和列进行滤波(卷积),再将卷积结果加起来便得到一次逆小波变换(重构)。

### 3. Manos 视觉模型

经生理学家和生理心理学家对人类视觉机理所做的研究可知,信息在经过人眼的锥状细胞和杆状细胞后,被分解为许多频带进行处理,人眼对不同频带的响应不同,且具有方向选择性,对水平和垂直方向较敏感,对角方向最不敏感。长期以

蒋金山 副教授,博士生,主要研究方向包括计算机应用、数字图像处理与模式识别等。余英林 教授,博士生导师,主要研究方向包括视频编码与图像处理、模式识别、图像分析等。陆子强 讲师,主要研究方向包括计算机应用、算法设计与分析等。郭国雄 讲师,主要研究方向包括计算机应用、软件工程等。

来,人们试图建立人类视觉系统的数学模型,比较成功的是 Mannos 的非线性-线性模型<sup>[1]</sup>,其非线性部分是幂指数,线性部分是一个带通滤波器,其频率响应(MTF)为:

$$H(fr)=2.6(0.192+0.114fr)\exp[-(0.114fr)^{1.1}] \quad (1)$$

其中  $fr$  为空间频率,单位为周/度。这里是各向同性模型,考虑到人眼的方向性,空间频率应作适当的调整。

文[1]研究了上述视觉模型在图像零树编码中的应用,其主要思想就是对图像的小波变换系数运用式(1)进行视觉加权,主要目的是增加小波变换系数中含零系数的比例而又尽量无损小波系数中视觉重要性,从而达到数据压缩的目的。而图像去模糊问题是一个逆问题,模糊图像可以看作理想图像在某种变换压缩编码意义下的解码不彻底的图像,而理想图像的变换编码规则未知。通过对理想图像和模糊图像(例如:均值低通滤波后的图像)小波变换系数中的含零比例的比较可知,模糊图像的小波变换系数的含零比例高于理想图像,在高频子带尤为明显,因此可以认为,理想图像被模糊化以后其小波变换高频系数(绝对值)缩小了(或者说高频信息相对能量变小了),小波变换系数中部分零值的产生可认为是理想图像在被模糊化时进行了类似文[1]中的视觉加权处理(高频子带的变换系数被严重缩小)。为了增强模糊图像的高频信息,有两条途径,一是放大小波变换高频系数,二是设法将那些变为零值的小波系数变为非零值。对于第二条途径,由于我们对模糊图像的模糊过程完全是盲的,也就是说没有任何关于模糊图像的先验知识,因此是不可取的。而放大小波变换的高频系数则是完全可行的,只是如何放大和放大多少的问题。文[1]利用式(1)设计了一种零树编码方案,由于其编码过程是已知的,因此在解码后对小波变换的高频系数进行“逆加权”(即用视觉权重值除小波变换的对应子带),然后进行逆小波变换就可以恢复图像。显然如果对于模糊图像也采取类似的方法,是不可能完全恢复图像的本来的面目,因为它不能把那些变为0的小波系数恢复出来,但却可以得到高频信息增强的模糊图像,再对这个结果图像运用盲去模糊方法或者正则化去模糊方法。

#### 4. 图像小波变换系数的视觉加权

文[1]基于式(1),使用表1所列的视觉加权系数对编码前的真实图像小波变换高频子带系数进行预处理,可把空间频率  $fr$  的单位周/度(cpd)变换为小波系数域(傅氏域)的单位周/像素(cycles per pixel),同时可获得高比例的含零系数,在不影响解码图像视觉质量的前提下从而获得好的压缩比。

表1 基于视觉特性的零树编码的小波系数的视觉加权

子带	LH1	HL1	HH1	LH2	HL2	HH2	LH3	HL3
权值	0.362	0.362	0.082	0.843	0.843	0.516	0.981	0.981
子带	HH3	LH4	HL4	HH4	LH5	HL5	HH5	LL5
权值	0.938	0.962	0.962	0.849	0.798	0.798	0.684	1

本文研究的图像去模糊过程可以看作编码问题的逆问题,采用的视觉加权权值是表1中所列权值的倒数,可见各高频子带的系数都有不同程度的放大。

#### 5. 逆小波变换和盲去模糊

对模糊图像的小波变换高频子带进行视觉加权以后,然后进行逆小波变换仍得到一幅模糊图像,但高频信息已加强,实验结果表明在此基础上进行盲去模糊,结果图像的视觉效

果很好。

## 6. 实验结果与分析

### 6.1 实验图像

实验用的模糊图像选择常用标准图像 Lena  $256 \times 256$ , 8 bpp 进行低通滤波后的图像,为使模糊化不失一般性,模糊化过程是:①采用窗口大小为  $7 \times 7$  的均值低通滤波器对标准图像进行低通滤波;②对低通滤波后的低频模糊图像进行进一步模糊化,保留图像的第一行和第一列不变,在其它相邻两行间、两列间做相加求和取平均运算,用均值代替原来的值即:

$$F(i,j)=[F(i,j)+F(i-1,j)]/2$$

$$F(i,j)=[F(i,j)+F(i,j-1)]/2$$

其中  $0 < i < \text{ImageWidth}$ ,  $0 < j < \text{ImageHeight}$ 。产生的模糊图像如图2所示。

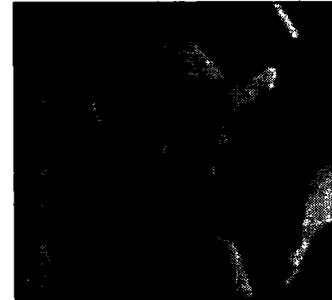


图2 实验用的模糊图像



图3 高频信息得到视觉加强后的模糊图像

### 6.2 实验步骤

1) 对图2中的图像进行4阶小波变换,本文采用 I. Daubechies 的 db9小波基;

2) 将小波变换各高频子带分别除以表1所列的权值(相当于乘以一个大于1的权值,从而高频子带得到了加强);

3) 对已做预处理的小波变换系数进行逆小波变换得到一幅高频信息加强了模糊图像,如图3所示。

4) 调用 Matlab 的 deconvblind 函数对图3的图像进行盲去卷积复原,deconvblind 函数的 weight 参数(权矩阵)用来屏蔽坏像素(也是为了减少振铃效应),weight 权矩阵的获取过程是:先使用 Sobel 算子(灰度阈值取0.08)提取图像2的边缘,对边缘图像进行膨胀操作以扩充图像的处理区域,灰度变化较大的像素和图像的边界(四周)像素都将被设置为0。利用 weight 恢复图像3,再消除图像中不连续的边界,结果图像和标准图像如图5中的 a, b 所示。虽然还有轻微的效果没有进一步消除,但其视觉效果已经很好了。

(下转第88页)

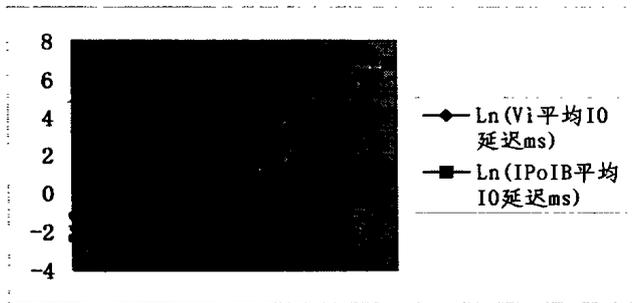


图7 VI与IPoIB的IO响应时间比较

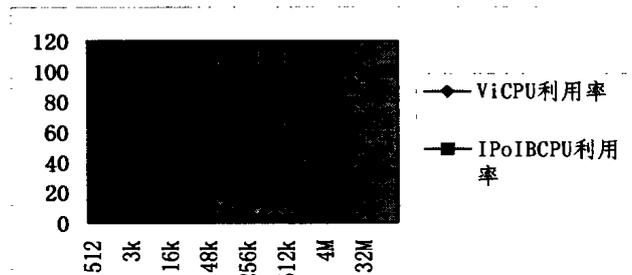


图8 VI与IPoIB的CPU利用率比较

#### 6.4 测试分析

从中,我们可以看出,IPoIB在小尺寸与中等尺寸数据块传输时,传输速率性能上有优势。但是由于CPU在小尺寸传输的情况下负荷很重,同时,在中尺寸数据块传输时的IO响应性能与VI的IO响应性能最接近,所以IPoIB在中尺寸数据块传输时的综合性能最佳。而对于VI而言,由于其基于消息传递的传输机制,以及零拷贝等特性,性能往往到了1M以上的传输量时才显现出优势,并且优势集中体现在CPU的低

负荷上。

可见,对于高性能机群的Web服务以及Email等服务而言,由于它们要求时延低,吞吐量不是很大,短包较多,因此IPoIB是很好的选择。而VI在大数据量传输时可以显示它的优势。

**结束语** InfiniBand作为新型的I/O结构,可以缓解传统以太网的带宽瓶颈。IPoIB在新旧技术并存时,可以作为联系IP和IB之间的桥梁,它不需要IP及其以上的协议和应用做任何的改变而利用IB的优点,因此,适于在采用InfiniBand技术的网络服务器的前端服务器或者接口机中使用。

#### 参考文献

- 1 Break Through the Bottleneck. 2002, Voltaire. <http://www.voltaire.com>
- 2 InfiniBand™ Architecture Specification Volume 1, Release 1.0, 2000, InfiniBand Trade Association. <http://www.infinibandta.org>
- 3 InfiniBand™ Architecture Specification Volume 1, Release 1.0.a, 2001, InfiniBand Trade Association. <http://www.infinibandta.org>
- 4 draft-ietf-ipoib-architecture-01.txt, Vivek Kashyap. <http://www.ietf.org>
- 5 draft-ietf-ipoib-ip-over-infiniband-01.txt, Vivek Kashyap, H. K. Jerry Chu. <http://www.ietf.org>
- 6 rfc826-Ethernet Address Resolution Protocol.txt, David C. Plummer. <http://www.ietf.org>
- 7 rfc2461-Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6).txt, T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson, Daydreamer. <http://www.ietf.org>
- 8 Virtual Interface Architecture Specification. <http://www.vidf.org>

(上接第80页)

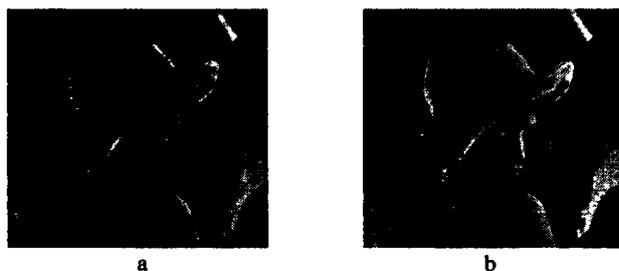


图4 a为图3的恢复图像,b为标准Lena图像

之所以选取图像2而不是图像3的权值矩阵作为恢复图像3的参数,是因为权值矩阵的作用是为了去除坏像素和降低振铃效应,这样做可以保证图像3中增强了的高频信息不至于被当作坏像素而被屏蔽。从视觉效果来看,本文的方法是可行的。本文没有比较模糊图像恢复前后的信噪比,因为信噪比并不是一个好的评价标准,它反映的也只是图像的统计特征,使用信噪比对重构图像的评价与人的主观视觉评价并不一致。

本文考虑的模糊图像并没有包含噪声,因此在使用本文方法之前还要对初始模糊图像进行去噪处理,而基于小波域

的软阈值和硬阈值去噪方法,其效果都不太理想,文[6]提出了一种基于小波系数的自适应去噪方法,可望推广本文方法的适用范围,还有待于进一步研究和实验。此外,去模糊后的图像的振铃效应虽然对视觉效果影响不大,但也需要降低或者消除,这也是需要改进的。

#### 参考文献

- 1 王光学,曹长修,孙光宇,王健.一种基于视觉特性的零树编码.计算机工程与应用,1999,6
- 2 Kuo S-S,Johnston J D. Spatial noise shaping based on human visual sensitivity and its application to image coding. IEEE transaction on image processing,2002,11(5):509~517
- 3 李树涛,王耀南,张昌凡.基于视觉特性的多聚焦图像的融合.电子学报,2001,12
- 4 肖忠,刘钊.采用树特征平面的小波变换图像编码压缩方法.通信学报,1999,20(11)
- 5 冉启文著.小波变换与分数傅里叶变换理论及应用.哈尔滨工业大学出版社,2001,3
- 6 Chang S G, Yu B, Vetterli M. Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising. IEEE transaction on image processing,2000,9(9):1522~1531