

基于小波变换的图像超分辨率复原算法研究

唐佳林 吴泽锋 蒋才高 孙慧芳

(北京理工大学珠海学院信息学院 珠海 519088)

摘要 在不改变现有硬件设备的情况下,结合近年来迅速发展的小波理论,提出了基于小波变换的图像超分辨率算法。对输入的低分辨率图像采用直接邻域进行插值后,利用 DWT 将低分辨率图像分解为不同的 4 个子带;同时直接对低分辨率图像进行 SWT 处理。由 SWT 得到的高频频带来修正 DWT 得到的高频频带,可修正估计系数。最后,通过逆离散小波变换(IDWT)组合修正的高频频带和输入图像,得到一幅高分辨率的输出图像。实验证明,与传统的双线性插值、双立方插值相比,该算法的峰值信噪比 PSNR 都有不同程度的提高。

关键词 图像处理,超分辨率,小波变换,邻域插值

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A

Study of Super-resolution Image Restoration Algorithm Based on Wavelet Transform

TANG Jia-lin WU Ze-feng JIANG Cai-gao SUN Hui-fang

(School of Information Technology, Beijing Institute of Technology Zhuhai, Zhuhai 519088, China)

Abstract Under the circumstances of without changing the existing hardware device, and taking into account that wavelet theory had been developing rapidly in recent years, this paper presented the image super-resolution algorithm based on wavelet transform. After direct neighborhood interpolation, low resolution image will be decomposed into four different Sub-band with DWT and at the same time is directly processed by SWT. High frequency band will be amended from using SWT to DWT, so as to fix the estimated coefficient. Finally, a high resolution output image can be obtained with high frequency band and the input image being modified by inverse discrete wavelet transform(IDWT). Experiments show that compared with the traditional bilinear interpolation and bicubic interpolation, the peak signal-to-noise ratio PSNR of the algorithm presented in this paper is improved.

Keywords Image processing, Super resolution, Wavelet transform, Neighborhood interpolation

1 引言

高分辨率图像由于其像素密度高,能提供的细节信息更丰富,对客观事物的描述更加准确,在信息高速发展的时代得到了更大的发展,譬如在军事侦查、医学成像、视频监控^[1]等领域。获取高分辨率图像的传统方法主要依靠高性能的成像器件或者增加光学镜头的孔径和焦距,但这受到实际器件工艺、光学加工工艺、成本等因素的制约。通过改善硬件设备来提高图像的分辨率往往很难实现,利用传统的图像复原方法虽能够提高低分辨率图像的清晰度,但不能将频率还原到衍射极限相应的截止频率外,图像仍将丢失能量和信息,图像的分辨率得不到真正的提高。图像超分辨率复原技术提出的目的就是在保证通频带内图像低频信息复原的基础上,对截止频率以上的高频信息进行复原,使复原图像更接近理想图像^[2]。

由于在时(空)域或频域具有多分辨率分析功能和逐步细分的性质,且小波变化的多尺度分解的特性更符合人类的视觉机制,使得近年来迅速发展起来的小波理论成为超分辨率图像复原算法的新兴研究方向^[3]。根据小波变换和插值方法的特点,本文主要研究了一种基于小波变换的图像超分辨率复原算法。

2 基于小波变换的图像超分辨率算法

本文主要研究基于单幅图像的超分辨率算法。对输入的低分辨率图像同时做两部分处理:第一部分利用邻域对输入的低分辨率图像进行插值,然后利用 DWT 将低分辨率图像分解成不同的 4 个频带;第二部分直接对输入图像进行平稳小波变换 SWT。为了改正估计系数,用由 SWT 得到的高频频带修正 DWT 变换后得到的高频频带。最后,通过逆离散小波变换(IDWT)组合修正高频频带和输入图像,得到一幅高分辨率的输出图像。算法的框架图如图 1 所示。

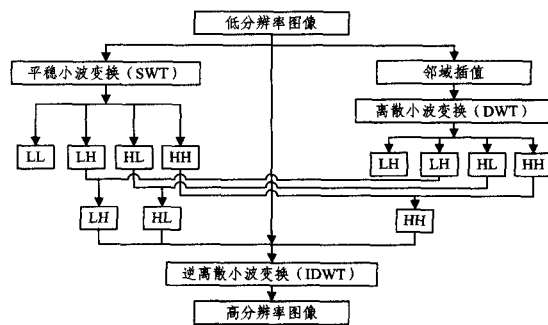


图 1 本文算法的框架

本文受广东省智能交通系统重点实验室开放基金项目(201401004)资助。

唐佳林(1982-),男,硕士生,讲师,主要研究方向为模式识别及其应用;吴泽锋(1989-),男,助理工程师,主要研究方向为视频图像处理;蒋才高(1990-),男,硕士生,主要研究方向为机器视觉与人工智能;孙慧芳(1992-),女,主要研究方向为模式识别。

2.1 离散小波变换(DWT)

离散小波变换 DWT(Discrete Wavelet Transform) 也称双尺度小波变换(Dyadic Wavelet Transform), 缩放因子和平移参数都选择 2^j ($j > 0$ 的整数) 的倍数, 解决了计算量的问题。

在连续小波变换中, 令参数 $a = 2^j, b = k2^j$, 其中 $j, k \in \mathbb{Z}$, 则离散小波为:

$$\psi_{2^{-j}, k2^{-j}}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k)$$

在这种情况下, 常用 $\Psi_{j,k}(t)$ 记 $\psi_{2^{-j}, k2^{-j}}(t)$ 。

对应于离散小波 $\Psi_{j,k}(t)$ 的离散小波变换为:

$$WT_f(j, k) = \langle f, \Psi_{j,k} \rangle = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi * (2^j t - k) dt$$

2.2 平稳小波变换(SWT)

平稳小波变换是一种非正交的小波变换, 具有平移不变性, 是通过对经典小波变换进行修改得到的, 即对低通和高通滤波器的输出系数不再进行下采样, 这样小波系数和尺度系数就与原始信号等长。另外, 还要对滤波器进行修改, 即在滤波器的值之间插零(上采样)。

每次平稳小波变换的逼近信号和细节信号的长度与原信号长度相同, 其分解公式为:

$$A_{j,k_1,k_2} = \sum_{n_1} h_0^{*2^j} (n_1 - 2k_1) h_0^{*2^j} (n_2 - 2k_2) A_{j-1,n_1,n_2}$$

$$D_{j,k_1,k}^1 = \sum_{n_1} h_0^{*2^j} (n_1 - 2k_1) g_0^{*2^j} (n_2 - 2k_2) A_{j-1,n_1,n_2}$$

$$D_{j,k_1,k}^2 = \sum_{n_1} g_0^{*2^j} (n_1 - 2k_1) h_0^{*2^j} (n_2 - 2k_2) A_{j-1,n_1,n_2}$$

$$D_{j,k_1,k}^3 = \sum_{n_1} g_0^{*2^j} (n_1 - 2k_1) g_0^{*2^j} (n_2 - 2k_2) A_{j-1,n_1,n_2}$$

其中, $A_{j,k_1,k_2}, D_{j,k_1,k}^1, D_{j,k_1,k}^2$ 和 $D_{j,k_1,k}^3$ 分别代表平稳小波变换后的低频分量、水平高频分量、垂直高频分量和对角分量;

$h_0^{*2^j}$ 和 $g_0^{*2^j}$ 则表示在 h_0, g_0 两点之间插入 $2^j - 1$ 个零。

2.3 逆离散小波变换(IDWT)

逆离散小波变换(Inverse Discrete Wavelet Transform, IDWT) 也称小波重构(Wavelet Reconstruction) 或者合成(Synthesis), 是把分解的系数还原成原始信号的过程。小波重构时包含上采样和滤波两个过程。上采样过程是在两个样本数据之间插入“0”, 目的是把信号的分量加长; 而滤波过程则关系到原始信号能否重构出满意的效果, 在信号的分解期间, 下采样会引起畸变, 这种畸变叫做混叠。这就需要在分解和重构阶段精心选择关系紧密但不一定一致的滤波器才有可能取消这种混叠。

2.4 设计原则

利用小波变换进行插值, 图像经小波分解后, 信号的能量不变, 但低频部分能量占的比例变得比较大, 而目标清晰和模糊的特征却主要体现在高频部分中; 对高频子带的重建采用内插的方法, 这不仅会不适当地增加高频能量, 还会因内插的低通特性大大降低高频子带中细节的准确性, 甚至丢失大部分的细节; 图像第二级高频能量通常比第一级高频能量高得多。因此, 本文算法主要采取两条原则来设计: 1) 适当减少低频子图像的比例, 以突出高频细节; 2) 尽可能多地恢复出高频子带中的微小细节^[4,5]。

3 实验结果

本文算法所采用的实验环境为: Microsoft Windows XP,

4GB 的内存, matlab 版本为 MATLAB version 7. 11. 0 (R2010b)。选用 5 幅 512×512 高分辨率清晰图像(lena, baboon, barb, peppers)作为测试图像, 分别对其进行下采样, 得到 256×256 的低分辨率输入图像。选用传统的双线性插值、双立方插值与本文所提算法进行比较, 放大因子均为 2, 选择峰值信噪比 PSNR 对算法进行评价。

实验结果如图 2、图 3 所示。

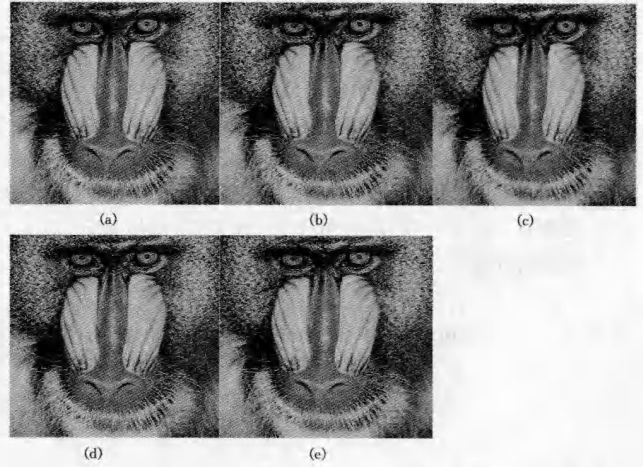


图 2 baboon 的实验结果

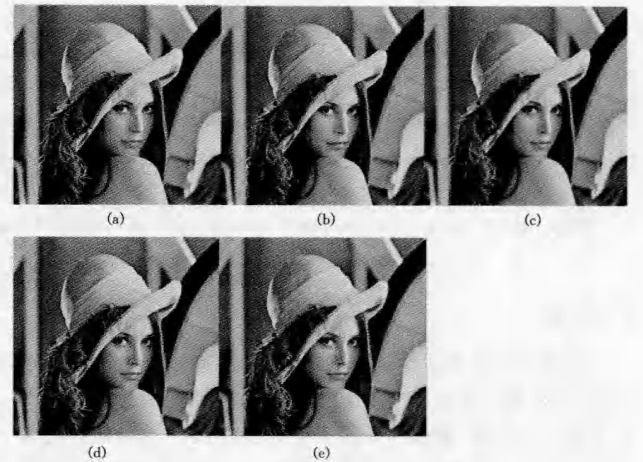


图 3 lena 的实验结果

图 2(a)、(b)、(c)、(d)、(e) 分别为 baboon 的高分辨率图像、低分辨率图像、双线性插值图像、双立方插值图像和本文所提出的小波插值图像。

图 3(a)、(b)、(c)、(d)、(e) 分别为 lena 的高分辨率图像、低分辨率图像、双线性插值图像、双立方插值图像和本文所提出的小波插值图像。

实验结果的峰值信噪比 PSNR 值如表 1 所列。

表 1 峰值信噪比 PSNR 值

Images/Methods	双线性插值	双立方插值	本文方法
baboon	23.059	22.927	24.027
lena	29.913	29.782	32.183
crowd	28.319	28.057	32.386
peppers	28.987	28.790	30.058
barb	23.627	23.317	24.129

结束语 在小波域, 低分辨率图像由高分辨率图像经过低通滤波得到, 即低频子带是原始图像的低分辨率版本。因此, 利用低分辨率输入图像而不是低频子带作为逆离散小波

变换的低频子带,提高了超分辨率复原图像的质量。但是以原始图像直接作为低频部分进行重建,容易忽视原始图像中低频系数的转化,使得到的重建图像出现低、高频系数不匹配的现象,从而使得得到的高分辨率图像产生灰度偏移。

在对图像进行分解后,各细节侧重点是不同的(水平、垂直、对角方向的细节信息),因而对于每个部分来说,它保留的仅是与该方向相关的信息。如果此时进行双立方插值,必然会导致误差的产生;再进行小波逆变换,这样的误差便会使像素点产生重叠,导致图像模糊。根据 Haar 小波的尺度插值特性,将原图直接邻域插值后再进行 Haar 小波分解,原图可完全转化为其低频系数,且不存在任何信息损失(因为得到的高频信息均为零)。根据这个原理,可修正一部分的灰度偏差^[6]。

从表 1 的峰值信噪比 PSNR 值可以看出,经本文提出的算法处理得到的图像优于原始低分辨率图像、经双线性插值

得到的图像和经双立方插值得到的图像。

参考文献

[1] 唐佳林,李熙莹,等.一种基于帧差法的夜间车辆检测方法[J].计算机测量与控制,2008,16(12):1811-1813

[2] 苏秉华,金伟其,等.超分辨率图像复原及其进展[J].光学技术,2001,27(1):6-9

[3] 陶洪久,柳健,等.基于小波变换和插值的超分辨率图像处理算法[J].武汉理工大学学报,2002,24(8):63-66

[4] Elad M,Feuer A. Restoration of a single super resolution image from several blurred, noisy, and undersampled measured images [J]. IEEE Trans IP, 1997, 6(12): 1646-1658

[5] 戴光智,陈铁群,等.小波和插值结合应用于超声图像的超分辨率算法[J].无损检测,2009,31(4):251-255

[6] 林虹.基于小波和插值的超分辨率图像重建算法研究[D].西安:西安电子科技大学,2005

(上接第 138 页)

针对拼接检测库中的篡改图,我们还做了几组实验,实验结果如图 5 所示,左列为拼接篡改后的图像,中间列为块标准差分布图像,最右列为后处理后的图像,此图像为二值图像,白色部分为篡改区域。



图 5 拼接检测库中图像检测结果

结束语 本文提出了一种基于偏度统计特性的图像局部噪声估计算法来检测噪声异常部分即篡改区域。该算法利用 DCT 交流系数部分的偏度统计特性来估计噪声,用条件最小值法求出噪声的标准差,该算法可以有效去除原图细节的干扰,并避免了高阶统计量算法中必须已知原始信号的问题。本文改进了条件最小值算法,利用微分方法求取最小值,避免了迭代算法中初始值设定问题,提高了算法的准确率。实验结果表明,本文提出的算法针对拼接篡改图像有明显效果。

参考文献

[1] Gou H, Swaminathan A, Wu M. Intrinsic sensor noise features for forensic analysis on scanners and scanned images[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2009, 4(3):476-491

[2] 李哲,郑江滨.基于噪声分布规律的伪造图像盲检测算法[J].计

算机应用研究,2009,26(3):1092-1094

[3] Donoho D L, Johnstone J M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81(3): 425-455

[4] Mahdian B, Saic S. Using noise inconsistencies for blind image forensics[J]. Image and Vision Computing, 2009, 27(10): 1497-1503

[5] Li T, Wang M, Li T. Estimating noise parameter based on the wavelet coefficients estimation of original image[C]//2010 International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering (CESCE). IEEE, 2010, 1: 126-129

[6] Lukáš J, Fridrich J, Goljan M. Detecting digital image forgeries using sensor pattern noise[C]//International Society for Optics and Photonics Electronic Imaging 2006. 2006, 60720Y-60720Y-11

[7] Popescu A C, Farid H. Statistical tools for digital forensics[C]//Information Hiding. Springer Berlin Heidelberg, 2005: 128-147

[8] 张晖,张荣,尹东.使用背景噪声盲估计的图像真伪鉴别[J].中国图像图形学报,2010,15(12):1738-1741

[9] 卢燕飞,鞠娅莉,于跃.基于图像背景噪声特性的篡改检测[J].信号处理,2012,28(9):1299-1307

[10] Zoran D, Weiss Y. Scale invariance and noise in natural images [C]//2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision. IEEE, 2009: 2209-2216

[11] Pan X, Zhang X, Lyu S. Exposing image forgery with blind noise estimation[C]//Proceedings of the Thirteenth ACM Multimedia Workshop on Multimedia and Security. ACM, 2011: 15-20

[12] Pan X, Zhang X, Lyu S. Exposing image splicing with inconsistent local noise variances[C]//2012 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP). IEEE, 2012: 1-10

[13] Franzen R. Kodak lossless true color image suite. 1999[OL]http://r0k.us/graphics/kodak

[14] Schaefer G, Stich M. UCID-An Uncompressed Colour Image Database[C]//Storage and Retrieval Methods and Applications for Multimedia. SPIE, 2004: 472-480

[15] Ng T T, Chang S F. Columbia Image Splicing Detection Evaluation Dataset [EB/OL]. http://www.ee.columbia.edu/ln/dvmm/downloads/AuthSplicedDataSet/photographers.htm