

基于小波变换和迭代反向投影的超分辨率算法

宋佳伟¹,徐煜明^{1,2},肖贤建²

(1. 河海大学 计算机与信息学院,江苏 南京 211100;

2. 常州工学院 计算机信息工程学院,江苏 常州 213002)

摘要:针对单帧图像的超分辨率的重建问题,在分析基于小波域及空间域相关算法的基础上,提出了一种基于小波变换和迭代反向投影的超分辨率重建算法。该算法结合了小波域和空间域算法的优势,在小波域通过小波变换对图像进行分解,再利用迭代反向投影方法使重构误差最小化,在小波域和空间域均采用简单插值方法来降低计算复杂度。实验数据表明,该算法与现有其他算法相比,得到的峰值信噪比较高,且运算复杂度较低,对图像的重建质量有明显改善。

关键词:单帧图像;超分辨率;小波变换;迭代反向投影

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)02-0074-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.02.017

A Super Resolution Algorithm Based on Wavelet Transform and Iterative Back Projection

SONG Jia-wei¹,XU Yu-ming^{1,2},XIAO Xian-jian²

(1. College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2. School of Information and Engineering, Changzhou Institute of Technology,
Changzhou 213002, China)

Abstract: For problem of single-image super resolution reconstruction, on the basis of analyzing algorithms in wavelet domain and spatial domain, a super resolution algorithm based on wavelet transform and iterative back projection is proposed. It combines the advantages of algorithms in wavelet domain and spatial domain, decomposes the image by wavelet transform in wavelet domain while the iterative back projection is used to minimize the reconstruction error, interpolation methods are used to reduce the computational complexity. Experimental results show that PSNR is higher and the computational complexity is lower compared with other algorithms, the reconstruction quality of the proposed algorithm is well improved.

Key words: single image; super resolution; wavelet transform; iterative back projection

0 引言

在很多场合中,比如高质量的视频会议,希望得到高分辨率的图像。由于视频受到存储空间、传输速度、摄像机像素等因素的制约,视频图像总是得不到人们期望的分辨率。如何将低分辨率的图像转化为高分辨率图像是当前研究的热点。近年来,基于小波域和空间域的算法得到了更深层次的研究,单帧图像的超分辨率和实时的超分辨也得到了快速发展^[1-2]。

空间域算法,如最简单的插值技术,只是简单地放大图像,而不考虑实际的细节问题。虽然其在平滑区域有很好的效果,但是被放大图像的边缘和复杂纹理

处很容易变得模糊。Zhang等给出了一种计算自回归模型参数的软判决方法,但其相对巨大的计算量限制了在硬件上实现的可能性^[3]。Dong等提出了一种迭代反投影的方法,可以有效地减小重构误差,但是过多的迭代次数会产生严重的振铃效应^[4]。Wang等首先对输入图像使用双三次插值,通过连通域分析的处理,使得高分辨率图像的边缘和细节处锐化^[5]。小波域算法中,低分辨率图像通常被视为小波变换高分辨率图像的低子带部分,最大的困难是估算其他三个高小波子带的未知系数。Temizel等采用小波零延拓插值与定向循环平移相结合的方法,其效果比WZP稍好,但

收稿日期:2014-03-16

修回日期:2014-06-23

网络出版时间:2014-12-27

基金项目:江苏省科技工业支撑计划项目(BE2010072);常州市科技局国际合作项目(CZ20123006)

作者简介:宋佳伟(1989-),男,硕士研究生,研究方向为图像处理、计算机视觉;徐煜明,教授,硕导,研究方向为智能信息处理、计算机应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141227.1347.032.html>

是其计算复杂度要比 WZP 高得多^[6]。Woo 等通过统计模型,特别是高斯混合模型,确定高小波系数从它们的母小波系数中继承了标志信息^[7]。

文中提出了一种小波变换和迭代反向投影相结合的方法,不仅在小波域和空间域选择简单的插值技术来降低计算复杂度,而且结合不同的技术来增强高分辨率图像的质量。在小波域对图像进行分解,同时引入迭代反向投影方法来有效地减小重构误差。最后,通过实验仿真,验证了该算法得到的峰值信噪比比其他算法要高,而且运算时间也小于其他算法。

1 相关概念

(1) 小波零延拓。

小波零延拓是利用离散小波变换(DWT)对自然图像的规律进行建模,能产生较好的效果。先将原来的低分辨率图像乘上一个放大倍数 S , 然后将其作为转换后的高分辨率图像的左上象限(LL子带),接着把剩下的三个高频子带用 0 填补,最后用离散小波逆变换来生成高分辨率图像。

(2) 迭代反向投影。

迭代反向投影法就是利用估计的高分辨率图像,模拟图像降质的过程,生成估计的低分辨率图像,然后与观测的低分辨率图像做差;接着把残差投影到估计的高分辨率图像中。不断重复这个过程,一直到估计的高分辨率图像满足迭代停止的条件。文献[8]中指出,低分辨率图像的产生过程可以用一系列影响因子的组合来建模,这些影响因子包括空气、物体和相机的移动、传感器以及下采样算子。可以用式(1)来表示这一过程:

$$I^l = (I^h * G) \downarrow_k \quad (1)$$

其中, I^l 和 I^h 分别表示低分辨率图像和高分辨率图像; $*$ 表示卷积运算; \downarrow_k 表示放大倍数为 k 的下采样算子; G 为模糊滤镜。

迭代反向投影是一种有效的重构算法,它通过反复修改重构误差来获得高分辨率图像。最初,这种算法是用于有多幅低分辨率输入图像的场合。在只有单帧输入图像的情况下,迭代反向投影分为以下两步:

第一步在第 t 次迭代中计算图像 $I^h(t)$ 的重构误差 $E(t)$ 。

$$E(t) = I^l - (I^h * G) \downarrow_k \quad (2)$$

第二步对重构误差进行反向投影。

$$I^h(t+1) = E(t) \uparrow_k * p + I^h(t) \quad (3)$$

其中, I^l 表示低分辨率图像; $I^h(t)$ 表示第 t 次迭代时的高分辨率图像; p 表示反向投影核函数; G 表示点扩散函数; \uparrow_k 和 \downarrow_k 分别表示上采样算子和下采样算子^[9]。

2 基于小波变换和迭代反向投影的算法

将小波变换和迭代反向投影相结合,充分利用其小波域和空间域的优势基础上,实现单帧图像的超分辨率重建,其算法的流程如图 1 所示,工作过程分如下七个步骤。

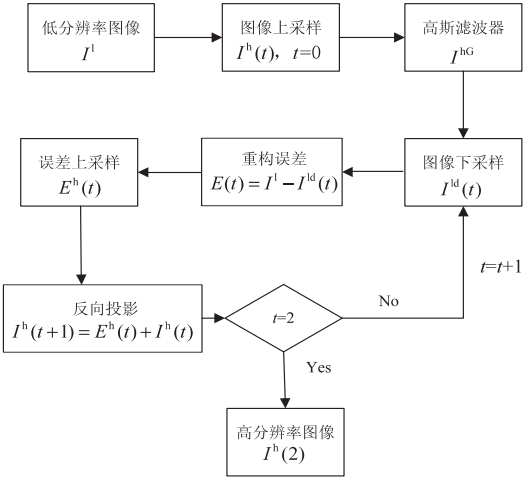


图 1 算法流程图

步骤 1:通过下采样得到低分辨率图像。

为了获取低分辨率图像,通过下采样方法将高分辨率图像转换为低分辨率图像。在这里选择 $2 * 2$ 的图像块,把高分辨率图像中的 4 个像素值转换为低分辨率图像中的一个像素值。文中采用双三次插值方法。

步骤 2:对图像进行上采样。

如图 2 所示,对大小为 $m * n$ 的低分辨率图像进行平稳小波变换(SWT),产生 4 个大小均为 $m * n$ 的子带(LL, LH, HL, HH)。SWT 的原理与 DWT 类似,只是 SWT 生成的子带大小和图像大小一样,而 DWT 生成的子带只有原来图像大小的一半。对信号进行分解时,可以采用低通滤波器和高通滤波器的组合,将信号分解为两个频带。低通滤波器用来提取粗信息,而高通滤波器则用来提取细节信息。对于二维变换,图像沿 x 方向采用低通滤波器和高通滤波器进行滤波,并被一分为二。紧接着沿 y 方向对子图像进行滤波并将其一分为二。这样经过一次分解后,图像就被分为了四块,分别用 LL, HL, LH, HH 表示^[10-11]。然后对 LL 子带再进行一次这样的分解过程,这一过程称为图像的金字塔分解。与上述相反的过程可以用来对图像进行重构,可以对其反复操作直至图像被完全重构^[12-13]。

采用双三次插值法将步骤 1 中得到的低分辨率图像放大一倍,然后对其进行 DWT 变换,得到四个大小为 $m * n$ 的子带。然后,将由 DWT 和 SWT 分别产生的 LH、HL 和 HH 子带相加来修正估计系数。

去噪:文中只对 HH 子带进行去噪处理,因为 LL

子带包含了图像的主要信息,而噪声主要存在于其他三个高频子带且最大的高频噪声存在于 HH 子带中。文中采用文献[14]中的算法进行去噪。基于离散小波变换的去噪方法能产生较好的效果,因为小波变换

包含了图像的大量系数,这些系数代表了图像在不同分辨率下的细节信息。可用的去噪方法主要有两种,分别为硬阈值和软阈值^[15-16]。

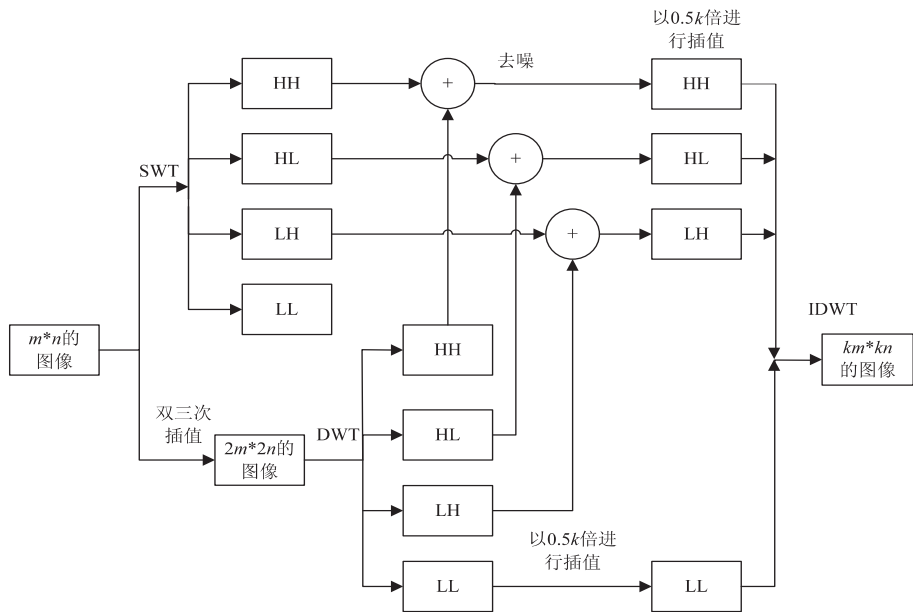


图2 图像上采样方法

硬阈值:

$$I(P,T)=\begin{cases} P, & |P|>T \\ 0, & |P|<T \end{cases}$$

(4)

软阈值:

$$I(P,T)=\begin{cases} \text{sgn}(|P|-T), & |P|\geq T \\ 0, & |P|<T \end{cases}$$

(5)

其中, T 为阈值; P 为输入字带。

算法中使用平均绝对偏差(MAD)来计算噪声水平。整个过程是从 HH 子带中计算出噪声水平 σ , 然后设定相应的阈值 T , 使用软阈值法得到去噪后的 HH 子带, 最后使用放大倍数为 $k/2$ 的双三次插值对四个字带进行插值, 再用离散小波反变换得到大小为 $km * kn$ 的图像。

步骤 3: 高斯滤波。

高斯滤波器可以看成是一种点扩散函数。为了防止高斯滤波产生过度平滑效应, 选择 $3 * 3$ 的滤波器大小, 同时设定 $\sigma = 0.5$ 。在实验中, 数据表明在迭代过程中, 高斯滤波器的影响是微不足道的, 可以忽略不计。为了减少算法的复杂性, 只在迭代前进行一次高斯滤波。

步骤 4: 下采样。

这一步所采用的方法和步骤 1 相同, 将经过高斯滤波的图像进行下采样, 大小变为原来的一半。

步骤 5: 重构误差。

重构误差是输入的低分辨率图像和步骤 4 得到的图像的差值, $E(t)$ 表示第 t 次迭代中的重构误差, 其大

小与输入的低分辨率图像一样。重构误差对于提炼每个子带的系数起着重要的作用。在设计中, 重构误差能够快速收敛。实验结果表明, 经过 3 次迭代, 它的作用就很小了, 可以忽略不计。

步骤 6: 对误差进行上采样。

为了对误差进行反向投影来帮助重建高分辨率图像, 需要对 $E(t)$ 进行上采样使其与高分辨率图像的大小相同。所采用的上采样技术与步骤 2 中的相同。

步骤 7: 对误差进行反向投影。

将步骤 6 得到的误差矩阵与步骤 3 得到的高分辨率图像相加, 对这一过程进行循环操作, 直到获得满意的结果。在该实验中, 进行 3 次迭代操作。

3 实验及结果

实验基于 Matlab 平台, 选取分辨率为 $256 * 256$ 的 Lena 图像和 Peppers 图像, 分别采用双三次插值、NEDI (New Edge - Directed Interpolation)^[17]、WZP (Wavelet Zero-Padding) 和文中算法对其进行超分辨率重构, 放大倍数为 2, 用峰值信噪比 (PSNR) 和运算时间来比较其重构效果。实验仿真图如图 3 和图 4 所示, 实验数据见表 1 和表 2。

表 1 测试图 Lena 和 Peppers 的 PSNR 值

图像	双三次插值	NEDI	WZP	文中算法
Lena	32.412	30.686	31.097	32.930
Peppers	30.699	29.587	29.853	30.991

表2 测试图 Lena 和 Peppers 的运算时间 s

图像	双三次插值	NEDI	WZP	文中算法
Lena	5.02	57.51	10.36	8.47
Peppers	4.98	56.28	10.21	8.39



图3 测试图 Lena 仿真结果

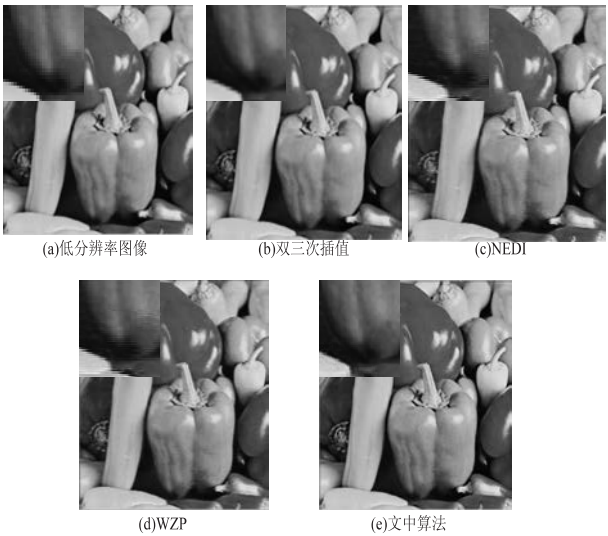


图4 测试图 Peppers 仿真结果

4 结束语

文中提出了一种基于小波变换和迭代反向投影的超分辨率重构算法,采用小波变换对图像进行分解,用简单插值来降低计算复杂度,再利用迭代反向投影方法来减小重构误差。实验数据表明,该算法有着较好的重构效果,其峰值信噪比其他算法有了明显改善,且其运算时间较短,计算复杂度较低。未来的工作考虑对于图像上采样部分的算法改善,使该算法能够达到更好的效果。

参考文献:

[1] 张煜东,吴乐南. 单帧图像的超分辨率技术进展[J]. 光学

技术,2008,34(z1):43-45.

[2] 浦剑,张军平,黄华. 超分辨率算法研究综述[J]. 山东大学学报:工学版,2009,39(1):27-32.

[3] Zhang Xiangjun,Wu Xiaolin. Image interpolation by adaptive 2-D autoregressive modeling and soft-decision estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2008,17(6):887-896.

[4] Dong Weisheng,Zhang D,Shi Guangming. Nonlocal back-projection for adaptive image enlargement[C]//Proc of 2009 16th IEEE international conference on image processing. Cairo:IEEE,2009:349-352.

[5] Wang Jinjun,Gong Yihong. Fast image super-resolution using connected component enhancement[C]//Proc of 2008 IEEE international conference on multimedia and expo. Hannover:IEEE,2008:157-160.

[6] Alptekin T,Theo V. Image resolution upscaling in the wavelet domain using directional cycle spinning[J]. Journal of Electronic Imaging,2005,14(4):040501.

[7] Woo D H,Eom I K,Yoo S K. Image interpolation based on inter-scale dependency in wavelet domain[C]//Proc of 2004 international conference on image processing. [s. l.]:IEEE,2004:1687-1690.

[8] Dai Shengyang,Han Mei,Wu Ying, et al. Bilateral back-projection for single image super resolution[C]//Proc of 2007 IEEE international conference on multimedia and expo. Beijing:IEEE,2007:1039-1042.

[9] 曹聚亮,吕海宝,谭晓波,等. 基于实时帧迭代反向投影算法的图像序列超分辨率处理[J]. 光学技术,2004,30(5):558-560.

[10] Rohit A,Madan L S,Nidhika B. An algorithm for image compression using 2D wavelet transform[J]. International Journal of Engineering Science & Technology,2011,3(4):2758-2764.

[11] Kale V U,Khalsa N N. Performance evaluation of various wavelets for image compression of natural and artificial images[J]. International Journal of Computer Science & Communication,2010,1(1):179-184.

[12] 孙琰玥,何小海,陈为龙. 小波局部适应插值的图像超分辨率重建[J]. 计算机工程,2010,36(13):183-185.

[13] 姜东玉. 基于小波的图像超分辨率重建算法研究[J]. 信息技术,2006,30(10):135-137.

[14] Naik S,Borisagar V. A novel super resolution algorithm using interpolation and LWT based denoising method[J]. International Journal of Image Processing,2012,6(4):611-620.

[15] 周密,李尊尊,耿国华. 基于小波阈值的图像去噪方法研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(5):22-24.

[16] 李海东,李青. 基于阈值法的小波去噪算法研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(7):56-58.

[17] Li Xin,Orchard M T. New edge-directed interpolation[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2001,10(10):1521-1527.

基于小波变换和迭代反向投影的超分辨率算法


作者:

宋佳伟, 徐煜明, 肖贤建, [SONG Jia-wei](#), [XU Yu-ming](#), [XIAO Xian-jian](#)

作者单位:

[宋佳伟, SONG Jia-wei \(河海大学 计算机与信息学院, 江苏 南京, 211100\), 徐煜明, XU Yu-ming \(河海大学 计算机与信息学院, 江苏 南京 211100; 常州工学院 计算机信息工程学院, 江苏 常州 213002\), 肖贤建, XIAO Xian-jian \(常州工学院 计算机信息工程学院, 江苏 常州, 213002\)](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#) 

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2015 (2)

引用本文格式: [宋佳伟](#). [徐煜明](#). [肖贤建](#). [SONG Jia-wei](#). [XU Yu-ming](#). [XIAO Xian-jian](#) [基于小波变换和迭代反向投影的超分辨率算法](#) [期刊论文] - [计算机技术与发展](#) 2015 (2)