

基于二元树复小波的图像插值超分辨率算法*

李丽芬, 肖志云, 常文霞

(内蒙古工业大学 信息工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要:根据二元树复小波理论和图像插值的特点,将二元树复小波变换与基于边缘插值方法相结合,得到一个放大的插值图像,然后将插值后的图像进行一级小波分解,将分解后的高频子带再做小波变换,并修正变换后的高频子带系数,进行图像重构后得到最终的插值图像。实验结果表明,该方法能够提高图像的分辨率,同时消除边缘处的“振铃”效应。

关键词:二元树复小波;边缘插值;超分辨率;小波重构

中图分类号:TP391

文献标识码:A

Image interpolation super-resolution algorithms based on dual-tree complex wavelet transformation

LI Li Fen, XIAO Zhi Yun, CHANG Wen Xia

(College of Information and Engineering, Innermongolia University of Technology, Huhehaote 010051, China)

Abstract: Based on dual-tree complex wavelet theory and the characteristic of interpolation, this paper introduces a method, which combines dual-tree complex wavelet transform with new edge-directed interpolation. Firstly, we obtain an enlarged image by method of dual-tree complex wavelet transform and new edge-directed interpolation. Then, use wavelet to decompose the enlarged image, we take high frequency subband to wavelet transform, and modify high frequency coefficients of haar transformed. Lastly, wavelet reconstruction. The results show that the method can be used effectively to improve resolution of the images, as the same time elimination of images of the “ring” effect.

Key words: dual-tree complex wavelet; edge-directed interpolation; super-resolution; wavelet reconstruction

很多成像系统由于一些固有的内在和外在线性限制,获取的图像往往不能达到人们实际的需求。从硬件方面改进又需要高昂的费用,所以解决这一问题的有效途径是从软件方面入手来提高图像的分辨率。而插值技术作为一种简单的图像处理方法具有十分重要的实用价值。传统的插值方法主要有:最近邻域插值方法(zero-order-hold)、双线性方法(bilinear)和双3次插值方法(bicubic)。这些插值方法只利用了邻近像素的灰度值进行计算。其优点是方法简单,计算量小。不足之处就是误差较大,不能完全恢复图像丢失的高频信息,致使在处理图像边缘细节及纹理时不够理想,有时会出现方块

效应或边缘退化现象^[1-2]。

新出现的一些算法,如LiXin的基于边缘的插值算法^[3],得到的放大图像在边缘处理的效果上比传统的插值算法要好些。

小波变换具有多分辨率分析特点和逐渐局部细化等性质,因此,图像经小波变换分解后进行处理比直接对图像进行处理要更加有效^[4-5],同时,小波变换的多尺度分解特性更加符合人类的视觉机制。二维实离散小波变换虽然具有以上优点,但其缺点是缺乏平移不变性导致了振铃现象和可选方向较少。而本文采用的二元树复小波技术^[6]能较好地弥补以上不足。

* 基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目(NO.200711020801);
内蒙古工业大学重点研究项目(NO.ZD200601)

基于保证插值结果的精确性和算法简明性的考虑,本文算法将 LiXin 的基于边缘的插值算法^[1]与二元树复小波变换相结合对图像进行了超分辨率处理。

1 二元树复小波变换

二元树离散复小波变换不仅保持了传统小波变换良好的时频局部化的分析能力,还具有好的方向分析性,能够反映出图像在不同分辨率上沿多个方向的变化情况,更好地描述图像的方向属性。图 1 为一维信号的二元树复小波变换示意图,它实质上相当于采用 2 棵并行的实 DWT 小波树,将一棵树(a 树)的输出作为复小波输出的实部,另一棵树(b 树)作为虚部。在第一层的变换上,b 树中的滤波器与 a 树中的对应滤波器间有一个样本的位移,在第一层后,各层上都取偶数长的滤波器,保证 b 树在下采样时始终能取到 a 树在下采样时舍弃掉的采样值,使总输出是输入的二倍冗余,以实现近似位移不变。一个二维二元树复小波变换可以区分频域空间的各个不同部分,将产生 6 个方向($\pm 15^\circ$ 、 $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 75^\circ$)的复系数带通子图。为了获取指向这些方向的冲激响应,应将 a 树和 b 树的尺度函数的输出系数(即低通滤波器的输出)看作是一个复数对,而把 2 棵树的小波函数的输出(即高通滤波器的输出)看作来自于另一复数对。

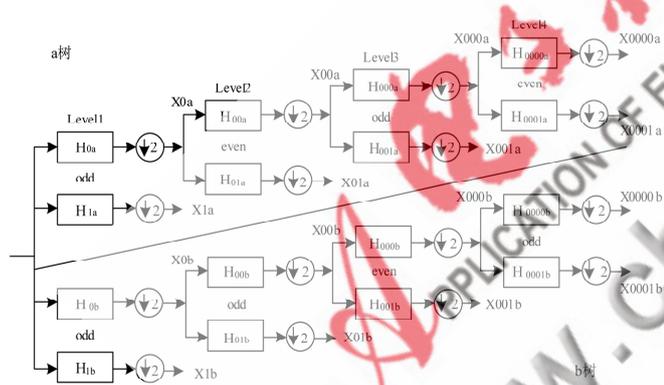


图 1 一维信号的二元树复小波变换示意图

2 基于二元树复小波变换的边缘插值方法

2.1 基于边缘插值方法

假设低分辨率图像为 X_{ij} , 大小为 $H \times W$ 。对应的高分辨率图像为 Y_{ij} , 大小为 $aM \times aN$, 其中 a 是整形放大因子。不失一般性,只考虑 $a=2$ 时,有 $Y_{2i,2j} = X_{ij}$ 。从 $Y_{2i,2j} = X_{ij}$ 插值出 $Y_{2i+1,2j+1}$ 。

$$Y_{2i+1,2j+1} = \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 \alpha_{2k+l} Y_{2(i+k), 2(j+l)} \quad (1)$$

这里插值是在对角方向上的 4 个最近邻域进行。对自然图像的一个合理假设是它能够被模型化为一个局部平稳高斯过程。根据经典维纳滤波理论,最优最小均方误差线性插值系数为:

$$\bar{\alpha} = R^{-1} \bar{r} \quad (2)$$

式(2)中, R 、 Y 是在高分辨率下的局部协方差。

$$\hat{R} = \frac{1}{M^2} C^T C, \hat{r} = \frac{1}{M^2} C^T \bar{y} \quad (3)$$

式中, M 是局部窗的大小, \bar{y} 是局部窗内的点, C 是 \bar{y} 沿着对角方向的 4 个最近邻域。根据(2)式和(3)式,则有:

$$\bar{\alpha} = (C^T C)^{-1} (C^T \bar{y}) \quad (4)$$

将(4)式代入(1)式可得到 $Y_{2i+1,2j+1}$ 。

2.2 基于二元树复小波变换的边缘插值方法

方法描述如下:图像 $f(x,y)$ 经过一次二元树复小波分解后,实部和虚部都被分解为 6 个高频子带和 2 个低频子带。求出实部 6 个高频子带的系数并用边缘插值方法对其插值放大。同样对虚部 6 个高频子带进行处理,得到插值后的各虚部的高频子带系数。由于低频信息集中了图像的绝大部分能量,而双 3 次插值方法能够提高图像的整体清晰度。因此,对于低频系数,本文采用了双 3 次插值。各系数插值完成后对插值后的系数进行二元树复小波逆变换。

3 边缘处理

经过以上过程处理后的图像虽然得到了较好的插值效果,但图像边缘处还是比较模糊。由于高频信息对应图像的边缘信息,所以通过改变图像的高频信息,重构后将改变原图像的边缘特征,因此改变不同层次的高频子带信息,可以提高图像边缘处的对比度。依据这个原则,这里用一种基于小波变换的方法将插值后的图像进行进一步处理,以得到更好的边缘效果。方法描述如下:

如图 2 所示,对用以上方法得到的插值图像做小波分解,分解为: LL、HL、LH 和 HH 4 个子带图像。其中 LL 子带集中了图像的大部分能量,3 个高频子带 HL、LH、HH 对应了图像不同方向的边缘信息。将小波变换后的图像的高频子带继续做 Haar 小波变换。每个高频子带做 1 次 Haar 变换后可以得到 4 个子带,通过修改高频信息,可以在重构图像时得到需要的图像效果。

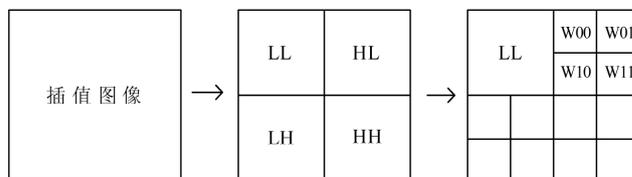


图 2 插值图像的二次小波分解

3.1 修改高频系数

令 $w00$ 、 $w01$ 、 $w10$ 、 $w11$ 表示每个高频子带经过 Haar 变换后得到的 4 个子带系数, $e0$ 、 $e1$ 、 $e2$ 、 $e3$ 分别为子带 $w00$ 、 $w01$ 、 $w10$ 、 $w11$ 系数模最大值。为了突出边缘,经多次实验本文按以下公式修改高频小波系数为:

$$w00' = w00 \times (0.8 + w00/e0), w01' = w01 \times (0.8 + w01/e1)$$

$$w10' = w10 \times (0.8 + w10 / e2), w11' = w11 \times (0.8 + w11 / e3)$$

3.2 重构图像

图3为对修改了的小波系数进行高频 Haar 逆变换和小波逆变换,即得到本文最后的的重构图像。

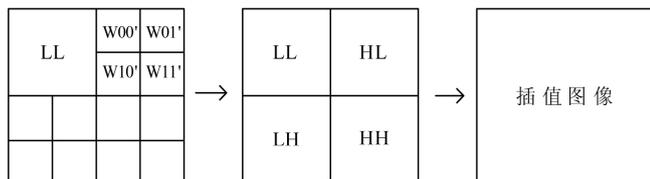


图3 修改后对系数进行2次小波逆变换

4 实验结果分析

根据本文的方法对 Lena(256 × 256)和 Lena(128 × 128)图像进行了处理。图4、图5分别为用参考文献[1]的新边缘插值方法、传统小波变换方法和本文方法对 Lena(256 × 256)和 Lena(128 × 128)放大4倍后的结果比较。经过比较可以看出,经本文处理的图像较好地保持了图像的纹理特征,增强了图像的边缘,克服了图像插值后的

纹理模糊现象。

由图6的 Lena(256 × 256)和图7的 Lena(128 × 128)局部放大图像眼部细节比较能够清楚地看到,本文方法优于新边缘插值方法和传统小波变换插值法得到的放大图像。使得到的图像在边缘处更加细腻,细节和纹理更加清晰。

表1列出了用参考文献[1]方法、传统小波变换方法和本文方法放大后图像的峰值信噪比(PSNR)。从PSNR中也可以看出,本文方法优于参考文献[1]方法和传统小波变换方法,与参考文献[1]方法相比,Lena(256 × 256)和

表1 参考文献[1]方法、传统小波变换方法与本文方法的 PSNR 比较

图 像	放大倍数	边缘插值方法 PSNR/dB	传统小波变换方法 PSNR/dB	本文算法 PSNR/dB
Lena256×256	2	16.4563	17.5717	17.6484
Lena128×128	2	15.6270	18.5049	18.5254



图4 Lena256 × 256 图像放大结果比较



图5 Lena128 × 128 图像放大结果比较



图6 Lena256 × 256 放大图像眼部细节比较

图7 Lena128 × 128 放大图像眼部细节比较

(下转第38页)

- [2] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986(12): 679-697.
- [3] 牛连强, 陈彦军, 刘守仁, 等. 结焦图像的处理与识别方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(6): 1494-1496.
- [4] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 译.(第2版). 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [5] 边肇祺. 模式识别[M]. (第2版). 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [6] SHAPIRO J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445-3462
- [7] MALLAT S, ZHONG S. Characterization of signals form multiscale edges. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14 (7): 710-732.
- [8] SCHMEELK J. Wavelet transforms and edge detectors on digital images[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2005, 41(13): 1469-1478.
- [9] HERIC D, ZAZULA D. Combined edge detection using wavelet transform and signal registration [J]. Image and Vision Computing, 2007, 25(5): 652-662.

(收稿日期: 2009-01-05)

(上接第30页)

数(取 10 个)、基音周期范围、基音周期数目(基音持续时间)和清音存在时间等。根据 ITU-T G.729 语音编码方法, 一帧语音信号特征参数仅需 80 bit, 即 80 个 16 bit 样本压缩为 80 bit, 缩小 16 倍。到合成需要该音时, 再利用语音产生模型由所存的特征参数实时转换为语音。

4.2 语音产生模型在语音识别技术中的应用

与机器进行语音交流, 让机器明白你说什么, 这是人们长期以来梦寐以求的事情。语音识别技术就是让机器通过识别和理解过程把语音信号转变为相应的文本或命令的技术。其原理是: 由于每一个短时语音信号包含一串语音特性参数, 不同的汉字音有不同的特征参数, 所以利用特征参数的差别来识别不同的汉字音。

近 20 年来, 语音识别技术取得显著进步, 开始从实

验室走向市场。预计未来 10 年内, 语音识别技术将进入工业、家电、通信、汽车电子、医疗、家庭服务、消费电子产品等各个领域。

参考文献

- [1] 拉宾纳 L R, 谢弗 R W. 语音信号数字处理[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [2] 戴逸民, 梁晓雯, 裴小平. 基于 DSP 的现代电子系统设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [3] 奥本海姆. 信号与系统[M]. 刘树棠, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.
- [4] 何苏勤, 王忠勇. TMS320C2000 系列 DSP 原理及应用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

(收稿日期: 2008-12-30)

(上接第33页)

Lena(128 × 128)图像 PSNR 分别高出 1.19dB 和 2.90dB, 与传统小波变换方法相比, Lena(256 × 256)和 Lena(128 × 128)图像 PSNR 分别高出 0.07DB 和 0.02DB。

本文针对图像超分辨率过程中传统的插值方法误差较大, 处理后的边缘细节及纹理不够理想, 有时会出现方块效应或边缘退化的缺点, 利用二元树复小波变换与边缘插值方法相结合放大图像, 然后对放大图像的高频系数进行修改, 最后通过小波逆变换得到重构后的图像。实验结果表明, 与传统方法相比, 本文算法可以明显提高图像的清晰度, 既保留了丰富的细节, 又抑制了边缘震铃效应, 同时 PSNR 也有所提高。将二元树复小波变换与边缘插值方法相结合应用到图像超分辨率重建中来, 具有一定的理论研究价值和实际应用价值。

参考文献

- [1] ATES H F, ORCHARD M T. Image interpolation using wavelet-

based contour estimation[J]. IEEE Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003, 3(4): 109-112.

- [2] TAPIA D F, THOMAS T G, MURGULA M C. Wavelet-based interpolation algorithm for MRI images[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2004, 369 (2004): 239-243.
- [3] LI Xin, MICHAEL T. Newedge-directed interpolation[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2001, 10(10): 1521-1527.
- [4] NGUYEN N, MILANFAR P. A wavelet-based interpolation-restoration method for superresolution[J]. Circuits Systems Signal Process, 2000, 4(19): 321-338.
- [5] YU Len Huang. Wavelet-based image interpolation using multilayer [J]. Neural Computing and Applications, 2005, 1(14): 1-10.
- [6] KINGSBURY N. A dual-tree complex wavelet transform with improved orthogonality and symmetry properties[J]. IEEE Image processing, 2000, 1(2): 375-378.

(收稿日期: 2009-01-21)