

一种基于区域的双三次图像插值算法

王会鹏¹, 周利莉¹, 张 杰²

(1. 信息工程大学信息工程学院, 郑州 450002; 2. 海军 91669 部队, 海口 571100)

摘 要: 采用双三次插值实现图像放大具有较高的图像质量, 但运算量很大。在分析常用插值算法的基础上, 提出一种基于区域的双三次插值算法。该算法避免进行图像分割, 通过被插值点四邻域像素的均值来划分图像的平坦区域和纹理细节复杂区域, 采用不同的插值算法进行计算。实验结果表明, 与传统的双三次插值算法相比, 该算法在保持放大后图像质量的同时, 运算量降低 10% 以上, 具有一定的实用价值。

关键词: 图像放大; 双三次插值; 基于区域

Region-based Bicubic Image Interpolation Algorithm

WANG Hui-peng¹, ZHOU Li-li¹, ZHANG Jie²

(1. Information Engineering College, Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China;

2. The 91669th Unit of Navy, Haikou 571100, China)

【Abstract】 Bicubic interpolation is an effective way to get well-qualified high-resolution image, but with high calculation load. The common used interpolation methods are discussed. A new region-based bicubic interpolation is proposed. Without segmenting the image, the mean value of the four neighboring points of the interpolated point is calculated which is used to divide the image into two regions: the flat region and the complex region with more details. Two different interpolating algorithms are chosen for each region. Experimental results show that the proposed algorithm can keep the image quality equal to the original algorithm while reducing the calculation load more than 10 percents. It is useful for applications.

【Key words】 image zooming; bicubic interpolation; region-based

1 概述

随着现代成像设备的不断进步和网络通信技术的飞速发展, 数字图像的应用越来越普及。数字图像处理技术逐渐成为信息处理领域的研究热点, 得到了快速的发展。图像放大是图像处理和应用中的一种常见的操作, 也是一些其他更复杂处理的基础, 其主要目的是提高放大后图像的分辨率, 以满足人们的视觉享受或实际应用要求。在视频安全监控、遥感成像、高清电视、医学图像等领域, 图像放大技术都有重要应用。

插值是实现图像放大的最常用的方法, 也是图像超分辨率重建的一个关键步骤^[1]。在实际中广泛采用的有最邻近插值法、双线性插值法、双三次插值法。其中, 双三次插值法的放大效果最好, 但运算量远大于前 2 种算法。本文主要针对双三次插值的特点进行改进, 提出了一种基于区域的双三次插值算法, 实现图像放大。实验结果表明, 本文方法在保持放大后图像质量的同时, 在一定程度上减少了运算量。

2 常用的图像插值算法

最邻近插值、双线性插值和双三次插值是 3 种比较常见的插值算法^[2], 在图像处理领域应用广泛, 下面对算法原理进行简要分析。

2.1 最邻近插值

最邻近插值法又称零阶插值, 原理十分简单, 即每一个待插值点的像素值取在原图像中相应点周围 4 个相邻点中欧氏距离最短的一个, 运算量小, 但容易产生块效应, 造成图像模糊。放大效果一般不够理想。其插值公式如下:

$$f(i+u, j+v) = f(i, j) \quad (1)$$

其中, i 、 j 均为非负整数; $f(i, j)$ 表示原图像在 (i, j) 位置像素点的像素值; u 、 v 均为 $[0, 1)$ 区间的浮点数, 分别表示待插值点与最邻近像素点在水平和竖直方向的距离。

2.2 双线性插值

双线性插值又称一阶插值, 其原理是待插值点像素值取在原图像中与其相邻的 4 个点像素值在 2 个方向上的线性内插, 即根据待采样点与周围 4 个邻点的距离确定相应的权值, 计算出待采样点的像素值。与最邻近插值相比, 运算量仅有少量提高, 但放大效果有了明显改善, 在实际中对图像质量要求不高的情况下, 应用很广泛。其插值公式如下:

$$f(i+u, j+v) = (1-u)(1-v)f(i, j) + (1-u)vf(i, j+1) + u(1-v)f(i+1, j) + uvf(i+1, j+1) \quad (2)$$

2.3 双三次插值

双三次插值^[3]又称立方卷积插值。三次卷积插值是一种更加复杂的插值方式。该算法利用待采样点周围 16 个点的灰度值作三次插值, 不仅考虑到 4 个直接相邻点的灰度影响, 而且考虑到各邻点间灰度值变化率的影响。三次运算可以得到更接近高分辨率图像的放大效果, 但也导致了运算量的急剧增加。这种算法需要选取插值基函数来拟合数据, 其最常用的插值基函数如图 1 所示。

作者简介: 王会鹏(1984 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 数字图像处理, 图像超分辨率重建; 周利莉, 副教授、博士; 张 杰, 助理工程师

收稿日期: 2010-04-20 **E-mail:** wanghuipeg@sina.com

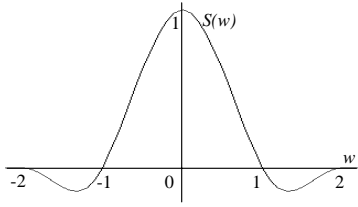


图1 双三次插值基函数

其数学表达式如下：

$$S(w) = \begin{cases} 1 - 2|w|^2 + |w|^3 & |w| < 1 \\ 4 - 8|w| + 5|w|^2 - |w|^3 & 1 \leq |w| < 2 \\ 0 & |w| \geq 2 \end{cases} \quad (3)$$

双三次插值公式如下：

$$f(i+u, j+v) = ABC \quad (4)$$

其中，A、B、C 均为矩阵，其形式如下：

$$A = [S(1+u) \ S(u) \ S(1-u) \ S(2-u)] \quad (5)$$

$$B = \begin{bmatrix} f(i-1, j-2) & f(i, j-2) & f(i+1, j-2) & f(i+2, j-2) \\ f(i-1, j-1) & f(i, j-1) & f(i+1, j-1) & f(i+2, j-1) \\ f(i-1, j) & f(i, j) & f(i+1, j) & f(i+2, j) \\ f(i-1, j+1) & f(i, j+1) & f(i+1, j+1) & f(i+2, j+1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$C = [S(1+v) \ S(v) \ S(1-v) \ S(2-v)]^T \quad (7)$$

$f(i, j)$ 表示源图像 (i, j) 处像素点的灰度值，如图 2 所示。

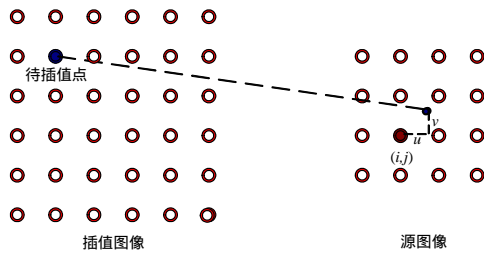


图2 双三次插值映射

3 基于区域的双三次图像插值算法

3.1 双三次插值存在的问题

为了说明问题，不妨取一小部分平坦区域作重点说明。如果待插值点在原图像的对应点周围存在 16 个相邻点，则可以通过这 16 个相邻点的像素值计算出待插值点的像素值。下面通过运算量对双三次插值进行分析，在统计计算量时，为简便起见，乘除法均以乘法计数，加减法均以加法计数，后面的运算量分析都采用如此计数。

由式(3)~式(7)容易计算得出，双三次插值算法每计算一个插值点像素值需要 70 次乘法，45 次加法；由式(2)易得双线性插值每个像素点的计算只需要 3 次乘法，6 次加法。显然，双三次插值的计算量远大于双线性插值的计算量，放大效果也优于双线性插值。

双三次插值算法对整幅图像的像素均进行同样的大运算量插值，没有考虑图像的局部特性。而图像一般有平坦区域和纹理细节丰富的区域，在平坦区域图像像素值变化很小，这时采用复杂的插值算法与简单的插值算法相比，放大效果相当，但运算量增加很大；在纹理细节丰富的区域采用复杂的插值算法，则可以得到更高质量的放大结果。因而在图像的平坦区域采用运算量小的插值算法，在纹理细节复杂的区域采用双三次插值，就可以在保持放大后图像质量的同时，减小计算量。基于这一考虑，对双三次插值算法进行改进。

3.2 改进方案

针对双三次插值存在的问题，首先考虑到的就是把图像

划分成不同的区域，对不同的区域采用不同的插值算法，以达到在保持放大后图像质量的同时减少运算量的目的。一般的划分区域的算法需要对图像进行分割，如文献[4-5]。考虑到图像分割比较复杂，而且没有适用于所有图像的统一算法。本文避免首先进行图像分割，而是先计算待插值点在源图像中的对应点的四邻域点像素值的方差 Var ，如果方差小于设定的阈值 T ，则直接取这 4 个像素值的均值 E 作为待插值点的像素值；反之，仍按双三次插值计算。方差 Var 的计算公式如下：

$$Var = (E - f_{11})^2 + (E - f_{12})^2 + (E - f_{21})^2 + (E - f_{22})^2 \quad (8)$$

其中， f_{11} 、 f_{12} 、 f_{21} 、 f_{22} 分别为当前待插值点在源图像的对应点邻域 4 点的像素值； E 为此 4 点像素值的均值。计算 E 需要 1 次乘法，3 次加法。由式(8)可得，计算方差需要 4 次乘法，7 次加法。总的就是需要 5 次乘法，10 次加法，这远小于双三次插值计算每个像素点所需的 70 次乘法和 45 次加法运算量。因而，尽管图像每个点都要计算一次方差，其总的运算量相比双三次插值仍有较大降低，尤其是对于平坦区域较多的图像，计算量的降低更加明显，后面的实验结果证实了该算法的有效性。

阈值 T 的选取是本文算法的关键一步，选取的阈值越小，能避免进行双三次插值运算的像素点就越少，得到的图像质量也越接近双三次插值的结果，但计算量仍很大；相反，如果阈值选取越大，能避免进行双三次插值的像素点就越多，计算量降低越多，但得到图像会变得越模糊。

方差 Var 反映了该像素点所处四邻域的平坦程度。对于不同的图像，很难确定统一的阈值标准，而且在不同场合也往往需要调整阈值，以满足实际应用要求。根据实验经验值，当选取阈值 $T=20$ 时，运算量的降低和图像质量的保持相对合理，在具体应用时可以根据需要在 20 上下调整阈值，以得到最佳的折中效果。本文图像均选用 $T=20$ 进行实验。算法流程如图 3 所示。

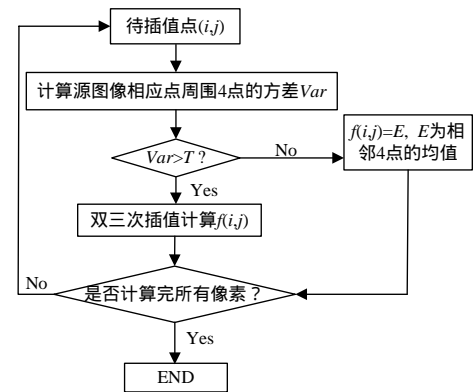


图3 算法流程

4 实验结果及分析

考虑到最邻近插值放大图像效果一般较差，本文仅选取双线性插值和双三次插值与本文算法进行比较。全部实验采用的计算机处理器为 Intel Pentium 3，主频 866 MHz。取 512×512 标准 Lena 图作为原始高分辨率参考图像，通过 Matlab7.0 中的 imresize 函数对标准 Lena 图进行 2 倍降采样，得到低分辨率图像，然后分别用双线性插值、双三次插值和本文的算法对原始图像的 2 倍下采样图像放大 2 倍。结果如图 4 所示，可以看到本文算法与双三次插值的结果无明显的视觉差异，但均比双线性插值保留了更清晰的边缘和细节。

图像质量的客观评价标准采用均方误差(Mean Square Error, MSE)准则。双线性插值、双三次插值和本文算法所得到的图像与原始标准图像的均方误差分别为 29.327、20.662、20.481; 运算时间分别为 150 ms、371 ms、320 ms。即在图像质量与双三次插值相当的情况下, 运算时间降低了 13.75%。



图 4 实验结果

考虑到算法的适用性, 从标准图像库随机选取 10 幅图像作重复实验, 阈值仍为 20。这 10 幅图像分别为 baboon、bridge、couple、crowd、lake、man、milkdrop、peppers、plane、woman1, 其尺寸均为 512×512。采用本文算法放大后的图像在视觉上均与双三次插值的放大结果无明显差异, 都优于双线性插值放大的结果。限于篇幅, 这里不再一一列出。其均方误差结果如表 1 所示。

表 1 不同算法的均方误差

图像	双线性插值法	双三次插值法	本文算法
baboon	234.93	201.97	202.48
bridge	175.71	143.55	143.57
couple	91.91	70.80	71.15
crowd	55.35	34.94	34.90
lake	85.67	61.93	62.19
man	66.54	50.76	50.90
milkdrop	22.15	18.30	18.52
peppers	44.18	35.27	35.60
plane	57.82	40.82	40.79
woman1	75.79	64.43	64.51

可以看出, 本文算法与双三次插值算法的均方误差比较接近, 均远小于双线性插值的结果。运行时间方面, 由于重复实验的图像尺寸均与标准 Lena 图相同, 因此在重复实验时, 前 2 种算法的运行时间均为 150 ms 和 371 ms, 这里只需要比较改进算法的运行时间即可。采用改进算法的运行时间如表 2 所示。如表 2 所示, 对于同一阈值 20, 本文算法放大不同图像的运行时间有较大差别, 计算得出其平均运行时间为 327 ms, 运算量平均降低 11.86%。分析结果, 发现图像

平坦区域面积较大的图像, 如 milkdrop、peppers、plane 运行时间较短; 相反, 图像纹理细节丰富的图像如 baboon、couple 等运行时间较长。这是由于在平坦区域采用的算法是求 4 点均值, 而在边缘或纹理细节丰富区域采用的是 16 像素点的双三次插值。因此, 平坦区域较大的图像运算量自然较小。综上, 本文算法更适用于纹理细节较少的图像。

表 2 改进算法的运行时间 ms

图像	运行时间
baboon	338
bridge	340
couple	344
crowd	334
lake	328
man	335
milkdrop	311
peppers	315
plane	312
woman1	320

5 结束语

本文提出了一种基于区域的双三次插值算法, 避免进行图像分割, 在保持图像质量的同时, 比双三次插值算法的运算量在一定程度上有所降低, 本文算法更适用于纹理细节较少的图像。在对放大后图像质量和实时性均要求较高的情况下, 本文算法具有一定的实用价值。另外, 如何自适应地选择阈值^[6], 更好地在运算速度和放大图像质量之间进行折中, 是下一步要研究的内容。

参考文献

- [1] 陈小蕾, 张俊, 吴乐南. 多帧超分辨率重建中的图像插值[J]. 信号处理, 2004, 20(3): 268-271.
- [2] 王风兰. 用于图像放大的插值方法的研究[D]. 昆明: 云南大学, 2005.
- [3] 张阿珍, 刘政林. 基于双三次插值算法的图像缩放引擎设计[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(1): 49-51.
- [4] 符祥, 郭宝龙. 区域指导的自适应图像插值算法[J]. 光电子激光, 2008, 19(2): 233-236.
- [5] 李将云. 图像处理中的插值和缩放若干技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [6] 金海丁, 周孝宽. 数字图像自适应插值法[J]. 激光与红外, 2006, 36(9): 907-910.

编辑 顾逸斐

(上接第 215 页)

6 结束语

本文从受限制自适应图像复原算法的机理出发, 在分析利用该算法进行图像复原的基础上, 结合 Neumann 边界条件和 Sobel 边缘检测技术, 给出了一种基于受限制自适应图像复原算法的改进算法。实验结果表明, 改进算法恢复的图像质量更好。

参考文献

- [1] Lagendijk R L, Biemond J, Boeke D E. Regularized Iterative Image Restoration with Ringing Reduction[J]. IEEE Trans. on Acoustic, Speech, and Signal Processing, 1988, 36(12): 1874-1888.
- [2] Frieden B R. Restoring with Maximum Likelihood and Maximum Entropy[J]. Journal. of Optical Society of America, 1972, 62(4): 511-518.
- [3] Vogel C R, Oman M E. Iterative Methods for Total Variation Denoising[J]. SIAM Journal of Scientific Computing, 1996, 17(1): 227-238.

- [4] Geman S, Geman D. Stochastic Relaxation, Gibbs Distribution, and Bayesian Restoration of Images[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 721-741.
- [5] 汪雪林, 韩华, 彭思龙. 基于小波域局部高斯模型的图像复原[J]. 软件学报, 2004, 15(3): 443-450.
- [6] 刘鹏, 张岩, 毛志刚. 一种基于模糊函数的自适应平滑约束图像复原算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(9): 1178-1183.
- [7] 邹谋炎. 反卷积和信号复原[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [8] Lagendijk R L, Biemond J. Iterative Identification and Restoration of Images[M]. Boston, USA: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [9] Michael K N G, Chan R H, Tang Wun-Cheung. A Fast Algorithm for Deblurring Models with Neumann Boundary Conditions[J]. SIAM Journal on Scientific Computing, 1999, 21(3): 851-866.
- [10] 张伟宇, 王耀明, 姜慧钧. 一种结合 Sobel 算子和小波变换的图像边缘检测方法[J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(4): 133-134.

编辑 张正兴

