

基于斜坡边缘模型的图像插值新方法

张慧芯¹, 屈小波¹, 闫敬文²

(1. 厦门大学通信工程系, 厦门 361005; 2. 广东省数字信号与图像处理重点实验室, 汕头 515063)

摘要: 基于斜坡边缘模型的经典插值方法把所有边缘归为强边缘, 导致弱边缘过分增强而失真。针对该问题提出基于斜坡边缘模型的图像插值新方法(NIIBRED), 对强弱边缘采用不同方法, 考虑边缘宽度随图像放大而增大的情况, 对放大图像进行修复。实验结果证明, NIIBRED 使放大图像的边缘更自然且清晰, 取得了更好的纹理效果。

关键词: 图像插值; 斜坡边缘; 边缘模型

New Image Interpolation Method Based on Ramp Edge Model

ZHANG Hui-xin¹, QU Xiao-bo¹, YAN Jing-wen²

(1. Department of Communication Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005;

2. Key Laboratory of Digital Signal and Image Processing of Guangdong Province, Shantou 515063)

【Abstract】 Classical interpolation method based on ramp edge model considers all the edges as strong edges, which results in weak edges' distortion. Aiming at this problem, a New Image Interpolation method Based on Ramp EDge model(NIIBRED) is proposed, which uses different methods for strong edges and weak edges. This method considers that the edges generated in the enlarged image do not have the same width, and reconstructs the enlarged image. Experimental results show that NIIBRED can make the enlarged image's edges more natural and clearer, and obtain better texture effects.

【Key words】 image interpolation; ramp edge; edge model

1 概述

图像插值一个图像数据的再生过程, 即由具有较低分辨率的原始图像数据再生出具有更高分辨率的图像数据。图像插值是图像处理中重采样过程的第1个重要组成部分, 它能将一个离散的矩阵转换成一幅连续图像。重采样被广泛用于离散图像处理, 以改善图像质量, 因此, 图像插值在图像处理中具有重要意义^[1]。

传统插值方法包括 nearest neighbor, bilinear 和 bicubic^[1], 它们的算法简单、运算速度快, 但不能很好地保持细节部分, 图像边缘会出现阶梯效应, 且当放大倍数较大时, 该问题更严重。

人们看一幅重构图像时, 对图像质量的主观评价主要受边缘质量的影响。研究者不断提出新的插值方法以保持图像边缘。文献[2]把矢量量化用到插值中, 文献[3]从插值核上改进算法, 文献[4]提出斜坡边缘模型。

文献[4]算法适用于强边缘图像, 它在处理自然图像时, 弱边缘会被过分增强而出现失真。本文提出的基于斜坡边缘模型的图像插值新方法(New Image Interpolation method Based on Ramp EDge model, NIIBRED)可以改善该状况, 其主要思想如下: 先用 sobel 算子检测边缘, 并采用 2 个标准去除由随机噪声引起的具有高梯度幅值的孤立点, 然后把图像中的像素归为平滑、强边缘和弱边缘 3 类, 分别用不同方法进行插值, 对强边缘采用斜坡边缘模型方法, 最后对放大的图像进行修复以取得较好的纹理效果。

2 基于斜坡边缘模型的图像插值方法

本文以斜坡边缘模型^[4]为基础, 分别介绍模型的参数含

义和该算法的实验步骤。

2.1 斜坡边缘模型的参数描述

如图 1 所示, 用 5 个参数描述边缘像素对应的斜坡边缘段。第 1 个参数 θ 是梯度方向。第 2 个参数 ρ 表示边缘像素到斜坡边缘段中心线的距离, 如果像素在中心线的下方, 则 ρ 是负值, 否则 ρ 是正值。第 3 个参数 λ 是斜坡边缘段的宽度。第 4 个和第 5 个参数 I_H, I_L 分别是斜坡边缘段 2 侧的灰度值, $I_H - I_L$ 表示灰度差^[4]。

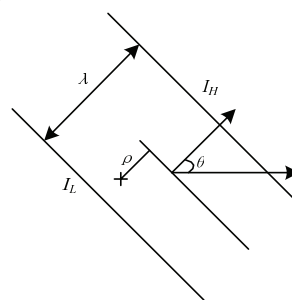


图 1 每个边缘像素的斜坡参数

2.2 边缘像素的寻找与原始图像斜坡边缘模型参数的计算

寻找边缘像素是实现该算法的第 1 步, 用以下 3 个点来确定 $P(i, j)$ 是否属于边缘:

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60472081); 航空科学基金资助项目(05F07001)

作者简介: 张慧芯(1985-), 女, 硕士, 主研方向: 数字图像处理; 屈小波, 硕士; 闫敬文, 教授

收稿日期: 2008-11-28 **E-mail:** jwyan@stu.edu.cn

(1)用经典的 sobel 算子得到 $P(i, j)$ 的梯度幅值 $G_M(i, j)$ 和梯度方向 $G_D(i, j)$, $G_D(i, j)$ 的范围是 $[-\pi, \pi]$, 设定幅度阈值 t_M , 且要求边缘像素的 G_M 大于 t_M 。

(2)为了消除由随机噪声而产生高梯度幅值的孤立像素, 要求边缘像素临近的 8 个像素中至少有 5 个与它的梯度方向相差小于 $\pi/4$ 。

(3)由于沿着梯度方向像素的梯度幅值相近, 因此要求边缘像素的 G_M 至少是沿着其 G_D 的 2 个临近像素的平均幅值的 80%^[4]。

符合以上 3 个标准的像素被确定为边缘像素。

根据 θ 把边缘方向划分为 8 种, 假设梯度方向在 $-\pi/8$ 到 $\pi/8$ 之间, 它的 I_H 和 I_L 通过以下式子得到:

$$I_H = \frac{1}{4} \times (P(i-1, j+1) + 2 \times P(i, j+1) + P(i+1, j+1)) \quad (1)$$

$$I_L = \frac{1}{4} \times (P(i-1, j-1) + 2 \times P(i, j-1) + P(i+1, j-1)) \quad (2)$$

假设梯度方向在 $\pi/8$ 到 $3\pi/8$ 之间, 它的 I_H 和 I_L 通过以下式子得到:

$$I_H = \frac{1}{2} \times (P(i-1, j) + P(i, j+1)) \quad (3)$$

$$I_L = \frac{1}{2} \times (P(i, j-1) + P(i+1, j)) \quad (4)$$

同样地, 可以得到其他方向的 I_H 和 I_L 。

有了边缘像素的 I_H 和 I_L , 就可以由式(5)和式(6)计算出另外 2 个参数, 即

$$\lambda(i, j) = \frac{I_H(i, j) - I_L(i, j)}{G_M(i, j)} \quad (5)$$

$$\rho(i, j) = \frac{P(i, j) - (I_H(i, j) + I_L(i, j))/2}{G_M(i, j)} \quad (6)$$

在式(6)中, 先用 I_H 和 I_L 估计出中心线的灰度值, 然后计算给定像素灰度值及其偏差并得到 ρ 。

2.3 NIIBRED 对图像的放大过程

NIIBRED 在文献[4]算法的基础上进行改进。假设原始图像为 P , 放大图像为 E , 放大倍数为 f_M , 把 E 中像素的坐标 (k, l) 通过式(7)映射到 P 中, 即

$$x = \frac{(k+0.5)}{f_M}, \quad y = \frac{(l+0.5)}{f_M} \quad (7)$$

图 2 描述了放大图像中的像素映射到原始图像中的过程, 其中, i, j 分别为与 x, y 最接近的整数。

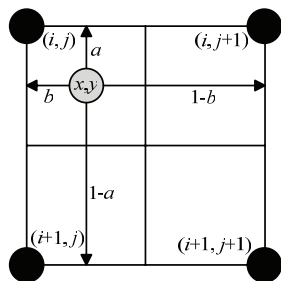


图 2 放大图像中的像素映射到原始图像中的过程

如果 (i, j) , $(i, j+1)$, $(i+1, j)$ 和 $(i+1, j+1)$ 都是非边缘, 则采用双线性插值。如果 (i, j) 是边缘, 则通过斜坡边缘模型参数来估计像素 $E(k, l)$ 的灰度, 图像中的参数 θ , I_H 和 I_L 保持不变。文献[4]提到 $\lambda(k, l) = \lambda(i, j)$, 而随着图像放大, 边缘宽度也会增大, 因此, 本文提出式(8)来得到 $\lambda(k, l)$ 。

$$\lambda(k, l) = \lambda(i, j) \times f_M \quad (8)$$

对于 $\rho(k, l)$, 计算 $\rho(x, y)$, 如图 3 所示。

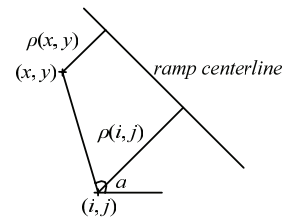


图 3 基于 $\rho(i, j)$ 对 $\rho(x, y)$ 的计算

放大图像中 $E(k, l)$ 的参数 $\rho(k, l)$, 由式(9)可得

$$\rho(k, l) = \rho(i, j) \times f_M \quad (9)$$

$E(k, l)$ 斜坡边缘模型的 5 个参数都已经得到, 通过此类参数来计算它的灰度值, 如式(10)所示。

$$E(k, l) = \begin{cases} I_H(k, l), & \text{if } \rho(k, l) \geq \lambda(k, l)/2 \\ I_L(k, l), & \text{if } \rho(k, l) \leq -\lambda(k, l)/2 \\ \frac{I_H(k, l) + I_L(k, l)}{2} + \rho(k, l) \times \frac{I_H(k, l) - I_L(k, l)}{\lambda(k, l)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

其他像素如图 2 所示, 假如 (i, j) 是非边缘, 而 $(i+1, j)$, $(i, j+1)$, $(i+1, j+1)$ 中至少有一个点是边缘, 则把 (i, j) 看成是弱边缘, 分别计算

$$\begin{cases} \Delta P_1 = |P(i+1, j) - P(i, j)| \\ \Delta P_2 = |P(i, j+1) - P(i, j)| \\ \Delta P_3 = |P(i+1, j+1) - P(i, j)| \\ \Delta P_{\min} = \min\{\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3\} \end{cases} \quad (11)$$

假如 $\Delta P_{\min} = \Delta P_1$, 则用式(12)计算 $E(k, l)$ 的灰度值, 即

$$E(k, l) = (a-1) \times P(i, j) + a \times P(i+1, j) \quad (12)$$

最后对放大图像进行修复, 假设放大倍数为 f_M , 把放大图像划分成 $f_M \times f_M$ 的小模块, 对模块的像素取灰度平均值, 与原始图像对应像素做差值, 并把模块中的各个像素减去差值以修复放大图像, 达到增强纹理的效果。

3 实验结果

本文采用改进算法实现灰度图像的放大, 并与 bilinear, bicubic, NEDI^[5]和文献[4]算法做比较, 实验图像为 Lena, boat 和 pepper。运用 sobel 算子检测边缘时, 把阈值设为 40, 阈值的大小直接影响边缘像素的数目, 阈值越高, 检测的边缘越强。文献[4]算法使放大图像的边缘过于增强, NIIBRED 可以改善该情况, 如图 4 和图 5 所示。

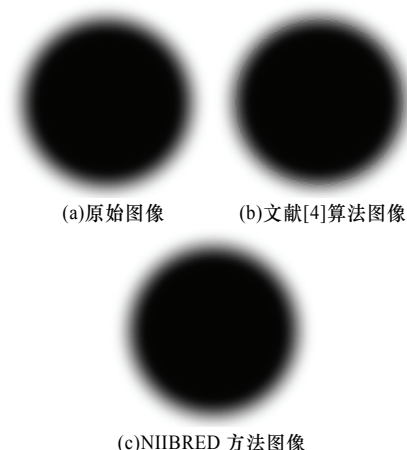


图 4 插值算法比较



图5 Lena 图像实验结果

可以看出,图 5(c)的边缘过度更自然,更接近原始图像,而图 4(b)的边缘因为过度增强而有明显的处理痕迹。

图 5 是由像素大小为 256×256 的 Lena 图像放大 4 倍后的部分图像,可以看出,图 5(a)中鼻子和嘴唇出现了失真,且该现象随着放大倍数的增大更明显。

当人们看待一幅重构图像时,对图像质量的主观评价主要受边缘的影响,但该方法带有主观性。峰值信噪比(PSNR)被广泛地认为是一种较接近人眼的视觉效果评价指标,但 NIIBRED 的 PSNR 不高于传统方法,且在图像放大过程中,人们更关注图像细节的变化,因此,更适用平均梯度值评价图像放大质量的好坏,其表达式如下:

$$T = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{(\Delta P_x^2 + \Delta P_y^2) / 2} \quad (13)$$

其中, M 和 N 表示图像的长和宽; $\Delta P_x = P(i+1, j) - P(i, j)$; $\Delta P_y = P(i, j+1) - P(i, j)$ 。

图 6 是由像素大小为 128×128 的 pepper 图像放大 4 倍的结果,从图 6(c)可以看出,NIIBRED 能更好地保持边缘。

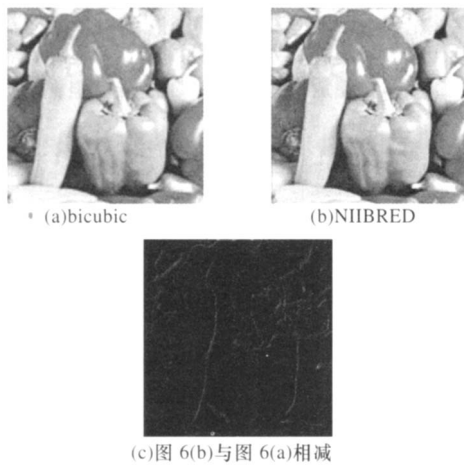


图6 pepper 图像放大 4 倍的结果

表 1 列出了不同算法的平均梯度值,可以看出,NIIBRED 的性能高于传统算法、NEDI^[5]和文献[4]算法。在表 1 中,128-256 表示大小为 128×128 的图像放大到 256×256 ; 128-512 表示大小为 128×128 的图像放大到 512×512 。从表 1 的客观评价指标能看出本文算法的平均梯度比 bicubic 高出 0.45 左右。

表 1 不同算法的平均梯度值

插值方法	图像					
	Lena (128-512)	boat (128-512)	pepper (128-512)	Lena (128-256)	boat (128-256)	pepper (128-256)
bilinear	3.277	3.852	2.853	6.681	7.843	5.748
bicubic	3.586	4.236	3.005	7.084	8.352	5.966
Jia-GuuLeu's[4]	3.873	4.603	3.357	7.373	8.593	6.356
NEDI[5]	3.537	4.151	2.968	7.088	8.289	5.951
NIIBRED	4.002	4.778	3.198	8.215	9.767	6.418

4 结束语

本文以斜坡边缘模型^[4]为基础,针对弱边缘过分增强的情况提出 NIIBRED。采用传统双线性插值、基于斜坡边缘模型插值和根据梯度变化进行线性插值的方法。sobel 算子中阈值的选取直接影响像素的分类,阈值越大,得到的边缘越强。在对强边缘进行处理时,关键是计算原图像的模型参数和预测放大图像的模型参数。文献[4]算法所得放大图像的边缘过于锐化。本文对边缘宽度 λ 进行修正以达到更自然的边缘效果。对弱边缘进行处理时,在灰度变化最缓慢的方向采用线性插值,并对放大图像进行修复以获得更清晰的纹理。实验室结果表明,本文算法在主观视觉效果和客观评价指标上优于传统插值算法、NEDI^[5]和文献[4]算法。

笔者利用灰度图像实现本文方法,该方法可以用到彩色图像中,此时,通常把 RGB 模式转化成 YUV 模式来处理,对 Y 分量采用本文方法,对 U, V 分量使用传统方法。本文算法中的放大倍数是整数,非整数倍放大有待进一步研究。

参考文献

- [1] Lehmann T M, Gonner C, Spitzer K. Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1999, 18(11): 1049-1075.
- [2] Hong Sung-Ho, Park Rae-Hong. Image Interpolation Using Interpolative Classified Vector Quantization[J]. Image and Vision Computing, 2008, 26(2): 228-239.
- [3] Mori T, Kameyama K, Ohmiya Y. Image Resolution Conversion Based on an Edge-adaptive Interpolation Kernel[C]//Proc. of IEEE PacRim Conference on Communications, Computers and Signal Processing. Victoria, USA: IEEE Press, 2007: 497-500.
- [4] Leu Jia-Guu. Sharpness Preserving Image Enlargement Based on a Ramp Edge Model[J]. Pattern Recognition, 2001, 34(10): 1927-1938.
- [5] Li X, Orchard M T. New Edge-directed Interpolation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1521-1527.

编辑 陈 晖