

一种改进的基于边缘的自适应图像缩放插值算法*

陈北京¹, 陈刚^{1,2}, 魏平¹, 赵晓宇²⁺

¹浙江大学图形图像研究所, 浙江 杭州 310027)

²(宁波大学数字技术与应用软件研究所, 浙江 宁波, 315211)

An Improved Adaptive Interpolation Algorithm Based on Edge for Image Zooming

CHEN Bei-Jing¹, CHEN Gang^{1,2}, WEI Ping¹, ZHAO Xiao-Yu²⁺

¹(Institute of Computer Graphics and Image Processing, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

²(Institute of DSP and Software Techniques, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

+ Corresponding author: E-mail: imageboy@126.com, http://www.zju.edu.cn

Received 2004-06-30; Accepted 2004-07-27

Chen BJ, Chen G, Wei P, Zhao XY. An improved adaptive interpolation algorithm based on edge for image zooming. *Journal of Software*, 2004,15(Suppl.):68~73.

Abstract: Usually, image zooming is an interpolation of the original image, achieving high quality zooming image as fast as possible. But it is well known that many traditional interpolation methods such as bilinear or bicubic often suffer from blurring edges or introduce zigzag errors. In this paper, a new adaptive image interpolation method based on edge, introducing rectangular interpolation and quincunx interpolation, putting forward the gradient weight function, motivated by the work of Nira Shezaf *et al.*, is presented. The experimental results show that the new method can improve the quality of zoomed image effectively. At last, an evaluation is presented to assess the quality of zoomed image.

Key words: interpolation; edge; gradient; zoom

摘要: 图像缩放一般都是通过插值,尽可能的以较快速度实现较好的缩放效果.但一些传统的图像插值方法(如双线性插值,双三次插值等)常使缩放(特别是放大)后的图像边缘部分模糊或出现锯齿现象.引入了一种改进的保留图像边缘特征的自适应缩放插值方法,在 Nira Shezaf 等人提出的自适应插值算法的基础上进行了改进,引进矩形插值和梅花形插值,提出了梯度插值权重函数,能够有效地处理模糊和锯齿现象,并得到了较好的放大图像.最后利用相关评估标准进行了图像质量评估.

关键词: 插值;边缘;梯度;缩放;矩形插值;梅花形插值

图像缩放在现实中应用十分广泛,比如高清晰度电视、医学诊断系统、军事侦察卫星以及通常的图像编辑和处理软件都有应用.图像缩放一般都是由图像插值来实现,而一些传统的插值方法,比如最邻近点插值、双线性插值、双三次插值、样条插值等等,通常插值后图像都会出现边缘模糊或锯齿现象.但人眼对图像的边缘信

* 作者简介: 陈北京(1981-),男,江西赣州人,硕士生,主要研究领域为数字图像处理;陈刚(1963-),男,博士,教授,主要研究领域为分形几何理论与应用、数字图像处理(图像编码、图像分析、图像检索等);魏平(1978-),男,硕士,主要研究领域为数字图像处理;赵晓宇(1978-),男,硕士,讲师,主要研究领域为数字图像处理,信息安全

息是非常敏感的.因此,保留图像的边缘特征就显得非常重要了.基于图像边缘的插值方法,就是要突出插值后图像的边缘.Qing Wang 和 Rabab Ward 通过对每个像素寻找最相似的插值对来消除锯齿,并给出了一个边缘锐化函数来突出边缘^[2].Sergio Carrato 和 Livio Tenze 提出了一种有理算子,对图像进行放大 2 倍处理,以合理的计算复杂度较好的保存了相关的边缘特征^[3].张俊华等人提出的方法是,利用边缘移动匹配法计算各像素间的相似程度来寻找边缘方向,再使插值沿边缘方向进行^[4].Nira Shezaf 等人提出了一种基于梯度和位置信息的自适应插值算法,以较低的复杂度解决了放大倍数为小数的情况^[1].本文在 Nira Shezaf 等人提出的自适应插值算法的指导下,提出了一种改进的插值算法.首先利用边缘检测检测出源图像中的边缘像素点,对非边缘像素点只进行双线性插值,对边缘像素点再采用本文的自适应插值算法.

本文第 1 节介绍矩形插值和梅花形插值及 Nira Shezaf 等人提出的自适应插值算法.本文提出的改进算法将在第 2 节详细描述.第 3 节给出了实验结果,并与双线性插值算法、Nira Shezaf 等人提出的自适应插值算法的效果进行了对比,用相关评估标准进行了质量评估.在第 4 节给出了结论.

1 矩形插值和梅花形插值^[6]及 Nira Shezaf 等人提出的自适应插值算法^[1]

1.1 矩形插值(Rectangular interpolation)和梅花形插值(Quincunx interpolation)^[6]

设高度与宽度分别为 M 和 N 的源图像 $O_{m,n}(0 \leq m \leq M-1, 0 \leq n \leq N-1)$,放大 2 倍后图像为 $Z_{s,t}(0 \leq s \leq 2M-1, 0 \leq t \leq 2N-1)$,其中 $Z_{2i,2j} = O_{i,j}$, $(0 \leq i \leq M-1, 0 \leq j \leq N-1)$,如图 2(a)所示.

分两步进行插值:第 1 步是运用矩形插值(Rectangular interpolation)得到所有 $Z_{2i+1,2j+1}$ 的灰度值(见图 1(a)),插值后图像如图 2(b)所示;第 2 步是在图 2(b)的基础上,运用梅花形插值(Quincunx interpolation)得到所有 $Z_{2i,2j+1}$ 和 $Z_{2i+1,2j}$ 的灰度值(见图 1(b)),至此得到放大 2 倍的最终图像,如图 2(c)所示.

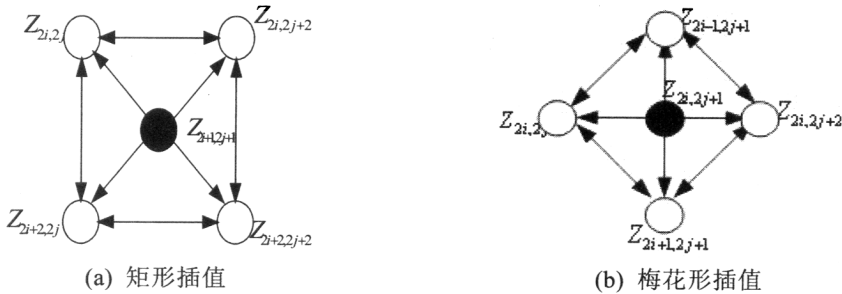


图 1 两种插值方法

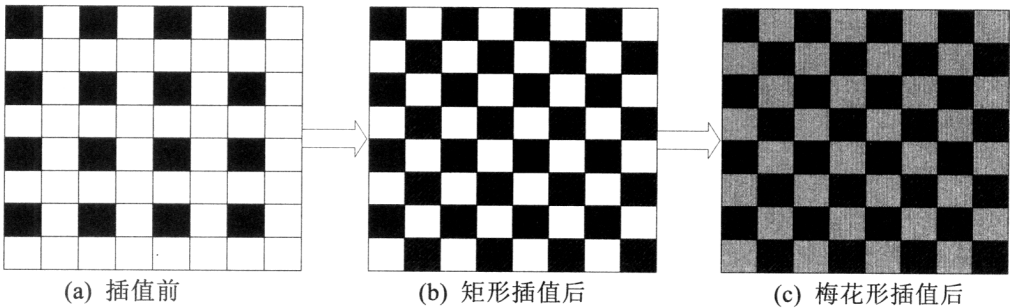


图 2 放大 2 倍插值过程示意图

1.2 Nira Shezaf 等人提出的自适应算法^[1]

如图 3 所示,该算法考虑了插值像素点 x (放大图像上的像素点所对应的原图像上的点)周围的 4 点 a_1, a_2, a_3, a_4 , 他们的灰度值分别为 $f(a_1), f(a_2), f(a_3), f(a_4)$.各自与插值像素点的水平、竖直距离分别为 $\Delta x_i (i=1,2,3,4)$ 和 $\Delta y_i (i=1,2,3,4)$,然后由归一化的 Sobel 边缘检测算子得到各自的局部梯度:

$$G(a_i) = (|f'_x(a_i)| + |f'_y(a_i)|) / 2 \quad (i=1,2,3,4)$$

其中 $f'_x(a_i), f'_y(a_i)$ 分别是 a_i 点的水平、竖直方向的局部梯度。

再由局部梯度构造出梯度插值权重函数:

$$W(a_i) = (1 - \mu G(a_i))^n \quad (i=1,2,3,4)$$

参数 $n \geq 0, 0 \leq \mu \leq 1$ 是为了进行相关的一些调整而设置的参数。

由水平、竖直距离构造出距离函数:

$$D(a_i) = (1 - \Delta x_i)(1 - \Delta y_i) \quad (i=1,2,3,4)$$

最后综合梯度与位置信息,得到了插值点的灰度值:

$$f(x) = \frac{\sum W(a_i) D(a_i) f(a_i)}{\sum W(a_i) D(a_i)}$$

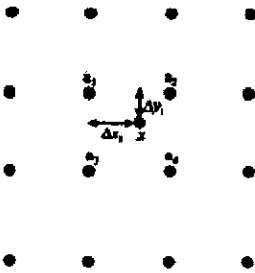


图 3

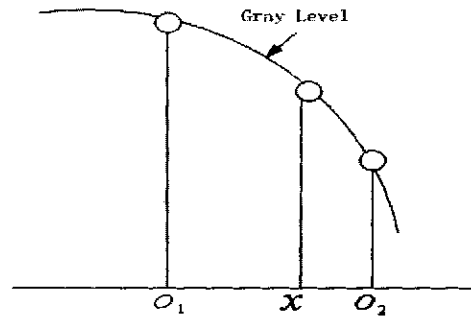


图 4

该算法在放大小数倍数时相对其他算法可以得到较好的效果,但对于放大整数倍数时并没得到很好的效果,而且计算复杂度还是比较大.在第 3 节的比较中就可以看到。

本文的算法在选择周围 4 点时进行了改进,分两步处理,先进行矩形插值,再进行梅花形插值.借用了局部梯度构造梯度插值权重函数的思想.对于距离函数,由于是对图像放大 2 倍,因此为常数 1/4,这样就不必考虑了.下面详细介绍本算法。

2 改进的基于边缘的自适应插值算法

本算法主要是针对图像的边缘部分进行处理.首先利用简单的边缘检测算子(比如 Sobel, Laplace 等等)检测边缘,对于非边缘像素点进行双线性插值,从而减小计算量.这是因为本改进算法对位于边缘位置的像素有效,对于非边缘像素点效果并不明显.而一般情况下,一幅图像中位于图像边缘的像素只占整幅图像的一小部分(这与边缘检测算子及阈值的选取有关)。

对于图 1(a)的矩形插值,待插值像素点是通过周围 4 个低分辨率像素 $\{Z_{2i,2j}, Z_{2i+2,2j}, Z_{2i+2,2j+2}, Z_{2i,2j+2}\}$ 计算得到:

$$Z_{2i+1,2j+1} = \beta_0 Z_{2i,2j} + \beta_1 Z_{2i+2,2j} + \beta_2 Z_{2i+2,2j+2} + \beta_3 Z_{2i,2j+2}$$

其中 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 为插值权重,它们可由下面的插值过程得出。

众所周知,梯度是描述一个点周围灰度变化的情况.如果梯度大,则灰度变化剧烈,反之,则灰度变化平缓.因此梯度越小的点,对待插值点影响越大,即要赋予相对大一点的权重.如图 4 一维情况所示,尽管插值点 Z 与 O_2 更接近,但明显 O_1 的权重要大一点.因为 O_2 梯度更大更接近于边缘。

由 $Z_{2i,2j}, Z_{2i+2,2j}, Z_{2i+2,2j+2}, Z_{2i,2j+2}$ 所对应的源图像的 4 个点为 $O_{i,j}, O_{i+1,j}, O_{i+1,j+1}, O_{i,j+1}$. 由前面的边缘检测结果, 可以知道这 4 点中那些是边缘点, 记其个数为 n , 并令其为 $O_k (k=1,2,\dots,n)$, 下面的梯度插值权重函数的构造过程就是由这 n 个点各自的局部梯度来构造的. 构造过程如下:

设 $f'_x(O_k), f'_y(O_k)$ 分别是由归一化的 Sobel 边缘检测算子求出的 O_k 点的水平、竖直方向的局部梯度, 取

$$G(O_k) = \max(|f'_x(O_k)|, |f'_y(O_k)|) \quad (k=1,2,\dots,n)$$

可知 $0 < G(O_k) < 1, (k=1,2,\dots,n)$. 改进是因为:

① 为了减少计算复杂度;

② 同时当 $|f'_x(O_k)|, |f'_y(O_k)|$ 有一比较大一比较小时, 如果按 Nira Shezaf 等人的思想取 $G(O_k) = (|f'_x(O_k)| + |f'_y(O_k)|) / 2$ 时, $G(O_k)$ 要小于本算法所求的 $G(O_k)$, 而实际上 O_k 点是 x 方向或 y 方向的边缘点, 因此 $G(O_k)$ 要赋予相对大一点的值.

并取梯度插值权重函数:

$$W(O_k) = 1 / (1 + \mu G(O_k)) \quad 0 \leq \mu \leq 1, k=1,2,\dots,n$$

由这个梯度插值权重函数得到插值点 $Z_{2i+1,2j+1}$ 的灰度值表达式:

$$f(Z_{2i+1,2j+1}) = \frac{\sum W(O_k) f(O_k)}{\sum W(O_k)} = \sum \frac{W(O_k)}{\sum W(O_k)} f(O_k)$$

即 $\beta_k = W(O_k) / \sum W(O_j), k=1,2,\dots,n$. 这样就完成了第一步, 接下来在第 1 步所得如图 2(b) 的结果基础上, 再进行梅花形插值.

梅花形插值的过程与前面类似, 只是考虑的 4 个点不同. 为了得到 $Z_{2i,2j+1}$ 和 $Z_{2i+1,2j}$ 的灰度值, 我们考虑的 4 个点分别是 $Z_{2i,2j}, Z_{2i-1,2j+1}, Z_{2i,2j+2}, Z_{2i+1,2j+1}$ 和 $Z_{2i,2j}, Z_{2i+1,2j-1}, Z_{2i+2,2j}, Z_{2i+1,2j+1}$. 在此就不再叙述. 这样就得到了整个放大图像像素点的灰度值, 结果如图 2(c) 所示.

上述过程就实现了放大倍数为 2 的图像插值. 重复上述过程可以实现放大倍数为 2^n 的图像插值. 与双线性或其他一些插值算法混合使用就可以得到任意放大倍数的图像. 例如如果放大倍数为 5, 则先由本算法放大至 4 倍, 再用双线性插值继续放大 1.25 倍.

3 实验结果与分析

下面给出一些我们实验的结果. 实验中以一幅 $256 \times 256 \times 8\text{bit}$ 的图像 Lena.bmp 为例. 图 5 为 Lena.bmp 的一部分(左上角顶点为(100,80), 右下角顶点为(200,180))进行 2 倍放大. 图 6 为双线性插值放大的结果图像(200×200), 图 7 为 Nira Shezaf 等人提出的自适应插值算法放大的结果图像(200×200), 图 8 为本文提出的改进自适应插值算法放大的结果图像(200×200). 从实验结果看, 本文提出的算法所得图像质量比其他方法有很明显的改善, 特别是边缘部分, 有效地消除了锯齿和模糊现象.



图5 原图

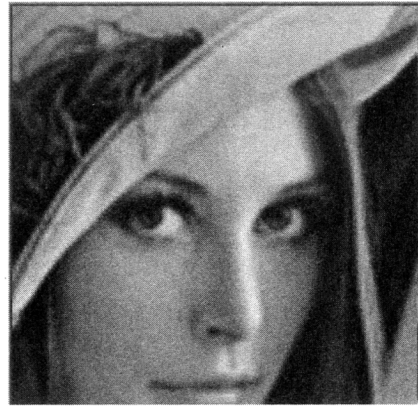


图6 双线性插值

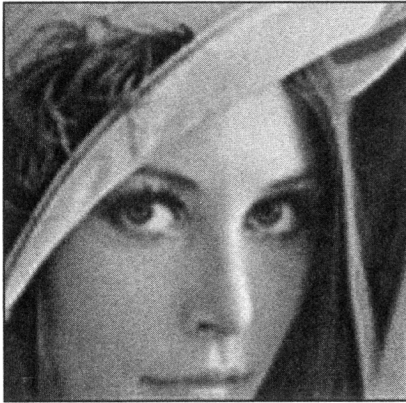


图7 Nira Shezaf 等的自适应插值

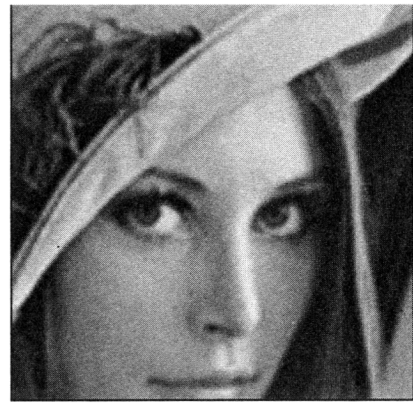


图8 本文的自适应插值

将图5缩小2倍后,再分别用双线性插值,Nira Shezaf 等人的自适应插值,本文的自适应插值将缩小后图像放大2倍.这样与原图像大小一致,从而与原图进行比较.计算图像平均值(AVG),均方差(MSE),峰值信噪比(PSNR)来评价图像插值的效果(如表1).各标准计算公式如下:

$$AVG = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j)}{M \times N}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f'(i, j) - f(i, j))^2}{M \times N}$$

$$PSNR = 10 \lg L^2 / MSE$$

其中 $f(i, j)$ 为原始图像, $f'(i, j)$ 为插值后的图像, M 和 N 分别为 x 和 y 方向图像像素点的个数, L 为图像中灰度取值范围.

表1 3种插值方法比较

插值方法	评估标准			
	TIME (ms)	AVG (原图 118.38)	MSE	PSNR
双线性插值	15	113.8730	2201.1706	14.5323
Nira Shezaf 等的自适应插值	29	116.5288	1794.4776	15.4194
本文的自适应插值	31	118.2066	1701.1094	15.6515

从表1可以看出,除时间方面,本文提出的算法都优于其余两种算法,当然这都是认为两次误差是线性的,可以累加.但现实中往往是非线性的,所以这有待于研究其他一些评价标准来进行图像质量的评价.

4 结 论

基于边缘的自适应插值算法,对于边缘像素点采用本算法,能够有效消除模糊和锯齿现象.由于图像的边缘特征对图像质量有着重要影响,因此本算法能大大增强插值后图像的质量.对非边缘点则采用双线性插值,从而提高运算速度(双线性插值时用位运算速度更快).但由于本算法用的是矩形插值和梅花形插值相结合的思想,只能放大 2^n 倍,只有结合其他插值方法时才可以放大任意倍,这是本算法的缺点所在,还有待改进.

References:

- [1] Shezaf N, Abramov-Segal H, Sutskov I, Bar-Sella R. Adaptive low complexity algorithm for image zooming at fractional scaling ratio. IEEE Convention of the Electrical and Electronic Engineers, 2000. 253~256.
- [2] Wang Q, Ward R. A new edge-directed image expansion scheme. In: Proc. of the 2001 Int'l Conf. on Image Processing, 2001. 899~902.
- [3] Carrato S, Tenze L. A high quality 2×image interpolator. Signal Processing Letters, IEEE, 2000,6(7):132~134.
- [4] Zhang JH, Chen JH, Wang X, Shi XL. Image interpolation based on edged-shifted matching method. Computer Engineering and Application, 2003,6:73~76.
- [5] Liu XS. Algorithms and applications of image interpolation [Master Thesis]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2003.

附中文参考文献:

- [4] 张俊华,陈建华,王道,施心陵.基于边缘移动匹配法的图像插值.计算机工程与应用,2003,6:73~76.
- [5] 刘晓松.图像插值的算法与应用[硕士学位论文].上海:上海交通大学,2003.