文章编号: 1001-5078(2006)09-0907-04

数字图像自适应插值法

金海丁,周孝宽
(北京航空航天大学宇航学院图像中心,北京 100083)

摘 要:文章分析了数字图像插值中最常用的双线形插值和立方卷积插值,并提出了一个根据映射点邻域原图像的复杂程度,自适应地调节插值权值的数字图像插值方法。

关键词:图像缩放;双线形插值;立法卷积插值;自适应
中图分类号: TP751 **文献标识码**: A

Self-adaptive Interpolation Algorithm for Digital Image

JIN Hai-ding, ZHOU Xiao-kuan
(School of Astronautics, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: Bilinear and cubic convolution, the most popular interpolation algorithm for digital image, are analyzed first in the paper. Based on these two algorithms, a novel self-adaptive interpolation algorithm is proposed. In this new method, when the grayscale of each interpolated point is computed, the weights of direct and indirect neighbor pixels are self-adaptively determined by the complexity of the neighborhood of the image. The experiment results show that the algorithm is superior to the traditional interpolation algorithm.

Key words: image zoom; bilinear interpolation; cubic convolution interpolation; self-adaptive

1 引 言

在数字图像的处理和应用中,数字图像的缩放是一种常见的操作,也是其他一些数字图像处理的基础。最常用的图像缩放方法有最近邻点法、双线性插值法和立方卷积法,这三种方法都受到了广泛的应用,其中,普遍认为立方卷积法的效果最好。本文在双线形插值和立方法卷积插值算法的基础上,提出了一种根据影射点邻域图像复杂度自适应地调整插值计算权值的插值算法。

2 常用数字图像插值算法比较[1-2]

数字图像进行缩放后,输出像素一般映射到了输入图像中的非整数位置,即位于 4个输入像素之间,由于图像像素的灰度值是离散的,因此一般的处理方法是对原来在整数点坐标上的像素值进行插值生成连续的曲线(面),然后在插值曲线(面)上重新采样以获得放大或缩小图像像素的灰度值。

2.1 最近邻点法

又称为零阶插值算法,即令输出像素的灰度值等于离它所映射的位置最近的输入像素的灰度值。最近邻插值计算十分简单,在许多情况下其结果也可令人接受。然而当图像中包含像素之间灰度级有变化的细微结构时,最近邻插值法会在图像中产生方块或锯齿效应。

2.2 双线形插值法

又称为一阶插值算法,是对最近邻法的一种改进,它是利用映射点在输入图像中的 4个邻点的灰度值对映射点进行插值。因为通过 4点确定一个平

作者简介:金海丁(1975-),男,现在北京航空航天大学模式识别与智能系统专业攻读博士学位,主要研究方向为图像压缩编码和遥感信息传输处理技术。

收稿日期: 2006-04-05;修订日期: 2006-05-29

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

面是一个过约束问题,所以在一个矩形栅格上进行一阶插值就需要用到双线形函数。

图1为双线形插值法的示意图,

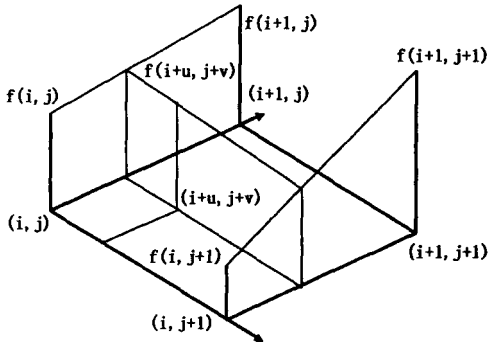

图1 双线形插值法

其计算公式是:

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

双线形法考虑了映射点周围4个直接邻点的影响,基本克服了前者灰度不连续的缺点。插值所得曲面在邻域边界处是吻合的,但斜率不吻合。这样一个由分段双线形插值产生的曲面的表面是连续的,但其导数在邻域边界处通常是不连续的。因此,用此方法缩放后的图像与原图像相比,仍然存在由于计算模型考虑不周而产生的图像质量退化与精度降低的问题。

2.3 立方卷积法

为了改进双线形插值法在插值曲面邻域边界处导数不连续性,引入立方卷积法。该方法不仅考虑的映射点4个直接邻点灰度值的影响,还考虑邻点灰度值变化率的影响。立方卷积用映射点周围16个邻点的灰度值,插值的权值为sinc函数(如图2所示),一般用三次多项式来对sinc函数进行拟合。

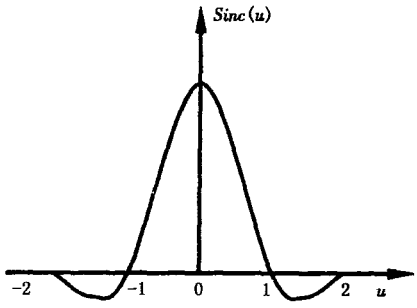

图2 sinc函数曲线

三次插值多项式为:

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

其中,u为映射点与输入图像各邻点的距离。

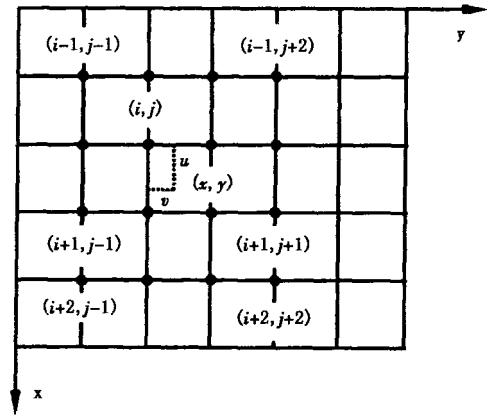

图3 立方卷积法图示

计算时,如图3利用周围16个邻点的灰度值进行插值:

$$f(x, y) = A \cdot B \cdot C \quad (3)$$

其中:

$$A = \begin{bmatrix} S(1+v) \\ S(v) \\ S(1-v) \\ S(2-v) \end{bmatrix}^T$$

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

$$C = \begin{bmatrix} S(1+u) \\ S(u) \\ S(1-u) \\ S(2-u) \end{bmatrix}$$

通过式(2)和式(3)得:

$$S(1+u) = 4-8|1+u|+5|1+u|^2-|1+u|^3 = -(|u|-2|u|^2+|u|^3)$$

$$S(u) = 1-2|u|^2+|u|^3 = (1-|u|)+(|u|-2|u|^2+|u|^3) \quad (4)$$

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

令 $k = |u| - 2|u|^2 + |u|^3$,则:

$$S(1+u) = -k, S(u) = (1-|u|) + k \qquad (5)$$

若令 $k=0$,则式(3)的立方卷积退化为双线形插值。因此,可以把用三次多项式插值的立方卷积法看成由两部分组成,其中$(1-|u|)$代表直接邻点的灰度值对待采样点的影响,而 k则代表邻点间灰度值的变化率对待采样点的影响。与双线性内插法相比,立方卷积法不仅考虑了直接邻点的灰度值对待采样点的影响,还考虑了邻点间灰度值变化率的影响,因此提高了插值精度和缩放的质量。

3 对双线形插值和立方卷积插值的分析

文献[3]将式(5)改写成了:

$$S(1+u) = -\lambda k, S(u) = (1-|u|) + \lambda k \qquad (6)$$

当 $\lambda=0$时,式(6)为双线形插值,当 $\lambda=1$时,式(6)为立方卷积插值。λ越大,邻点间灰度值变化率的影响权值就越大;λ越小,直接邻点灰度值的影响权值就越大。经过计算与统计分析可以发现,当 λ取 0～1之间的值时,内插效果优于立方卷积法,这说明立方卷积法中邻点间灰度值变化率的权值过高,即 λ应取小于 1的某个值。对于不同的图像,最佳的 λ取值不同。对不同的图像在立方卷积法和双线性内插法的权值曲线之间还有一个最佳的内插曲线,用该曲线求出的权值来处理图像效果比前两者都好。

文献[3]虽然发现了随着图像的不同,取得最佳缩放效果的 λ的取值也有很大的差异,但没有给出如何根据图像自身的特点来自适应地对 λ的取值进行调整,这就使这种方法没有实际的可操作性。在一组图像缩放的试验中,有的图 λ取 0.3时最好,而有的图 λ取 0.8时最好。通过试验可以观察到,比较复杂,即拥有比较丰富的细节的图像进行缩放时,λ应当取的较小一些,反之,较平坦的图像 λ应当取的较大一些。这是因为细节丰富的图像中,高频信息较多,邻点间灰度值变化剧烈,因而应适当减少间接邻点对映射点的影响,增加直接邻点的影响,所以 λ的取值比较小,反之亦然。

在图 4和图 5中,插值点与邻点的距离完全一样,根据插值公式,计算这两幅图中的插值点时,它们各自的间接邻点和直接邻点的权值是一样的。但是图 4中的插值点邻域灰度值变化不剧烈,而图 5中的插值点邻域灰度则有很大的跳变,可以明显看出,在图 5中,直接邻点对插值点的影响远远大于图 4中直接邻点的影响。这样,在计算这两个插值点时,如果间接邻点和直接邻点使用相同的权值显然是不合适的。

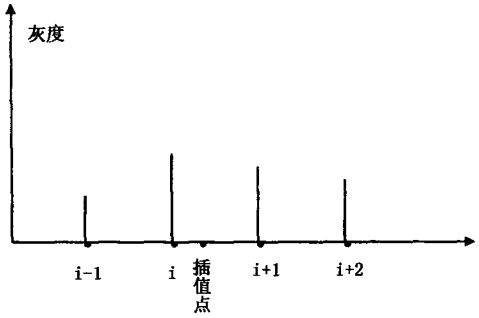

图 4 插值点与邻点

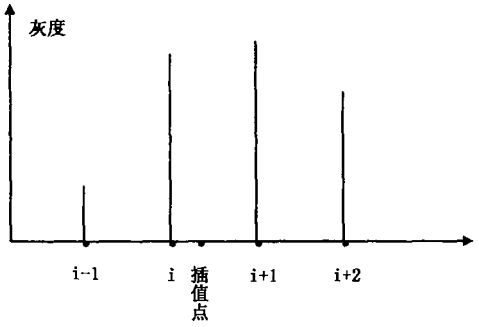

图 5 插值点与邻点有较大跳度

4 自适应插值法

那么如何根据图像的特征,在缩放的时候自适应地调整 λ值呢?判断一幅图像复杂或平坦是一个十分困难的问题[4]。一般而言,在一副复杂的图像中,也会有平坦的区域,在一副平坦的图像中,也会存在一些细节丰富的区域,因此,根据一幅整图的某些统计量来确定一个 λ值,并用该 λ值来对整图进行缩放操作并不是一个好方法。

本文提出了在计算每个映射点时,根据该映射点周围各邻点灰度值的变化情况,自适应地调整 λ值,以此来达到提高插值精度和缩放质量的目的。判据可以有多种选择,比如可以根据比较直接邻点和间接邻点各自的梯度,或用直接邻点与间接邻点的灰度差是否大于一个给定的阈值来判断该映射点的周围是高频区或低频区,再以此来自适应地选择一个 λ值进行插值运算。在这里,采用了以直接邻点和间接邻点各自梯度的比值作为选取 λ值的判据。

定义图 4中像素点 i的梯度为:

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$grad(i) = f(i) - f(i-1) \tag{7}$$

在缩放时,λ的取值由下式决定:

$$\lambda = \begin{cases} 0.8 & 0 \le grad(i)/grad(i-1) < 1 \\ 0.65 & 1 \le grad(i)/grad(i-1) < 1.5 \\ 0.5 & 1.5 \le grad(i)/grad(i-1) < \infty \end{cases} \tag{8}$$

另外在高倍图像缩放时要注意一个问题。当把一个图像缩小4倍以上时,也就是在一维的方向上,缩小2倍以上时,存在着某些原图像中相邻的两个点中间没有映射点的情况,这样,在缩小图像时,这两个点之间的相关性信息就没有被利用,这对图像的缩放是不利的。这时,发现采用多次缩放就可以取得好的效果。比如要把一幅图缩小6倍,并不把图像一次直接缩小6倍,而是分两次缩小,每次缩小$\sqrt{6}$倍,这样的效果要好于前一种做法。同理,在缩小16倍以上时,应当分3次进行,以此类推。在设计的自适应插值算法中,如果缩放倍率大于4倍,就采用多次缩放的方法。

5 试验结果

用一些数字图像处理教材中的典型范例图像和一些遥感图像进行缩放试验。试验时,先把每幅图缩小6倍,然后再放大6倍,最后根据放大后得到的图像与原图的峰值信噪比(PSNR)作为缩放质量的标准。PSNR根据下式计算:

$$PSNR = -10\log_{10}\frac{\frac{1}{M\times N}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[f(i,j)-g(i,j)]^2}{255\times 255} \tag{9}$$

其中,$f(i,j)$为原始图像像素灰度值;$g(i,j)$为缩小再放大后图像像素的灰度值;$M\times N$为图像宽×高。

表1就是试验结果。

表1 立方卷积法和自适应插值法比较

PSNR	city	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	baboon	plane	sailboat	lena
立方卷积法	22.3843	20.8363	35.5530	35.2275	35.4510	28.1231	21.3985	33.8456	27.6352	31.8528
自适应插值法	23.2474	21.6660	36.1557	35.8058	36.0044	29.0309	22.3160	34.8350	28.3796	32.3731
改进	0.8631	0.8297	0.6027	0.5738	0.5534	0.9078	0.9175	0.9894	0.7444	0.5203

通过表1中的数据可以看出,对以上10幅图像,自适应缩放法比起立方卷积法要提高0.5～1分贝左右,效果应该说是十分明显的。

另外,在不同的缩放倍率下,本算法也都优于立方卷积法。图4和图5显示了两种插值方法在不同缩放倍率下的比较。

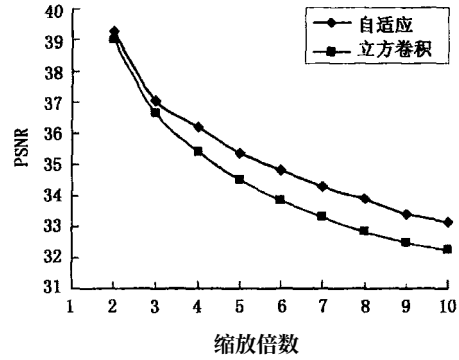

图6 两种方法缩放图 *plane*的结果比较

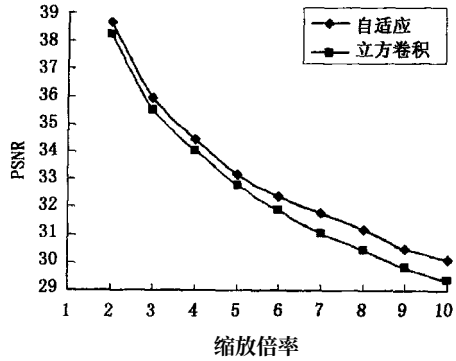

图7 两种方法缩放图 *lena*的结果比较

通过图4和图5还可以看出,随着缩放倍数的增大,自适应插值与立方卷积插值相比较其优势有加大的趋势。

至于研究更好的映射点邻域图像复杂度的判据以及该判据与参数λ之间的优化,都可以做进一步的讨论。

参考文献:

[1] Kenneth R Castleman. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社, 1998. 9.

[2] 胡敏,檀结庆. 保持轮廓清晰的有理-线性彩色图像内插放大方法[J]. 系统仿真学报, 2004, 12: 2857 - 2859.

[3] 尤玉虎,周晓宽. 数字图像最佳插值算法研究[J]. 中国空间科学技术, 2005. 3: 14 - 18.

[4] S E El-Kbamy, M M Hadhoud, M L Dessou, et al. A New Edge Preserving Pixel-by-Pixel (PBP) Cubic Image Interpolation Approach [A]. 21 National Radio Science Conference (NRSC2004) (NTI) [C]. March 16 - 18, 2004: C11 - 1 - 9.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net