一种基于弹性模型的图像放大算法

康 牧 李永亮
(洛阳师范学院信息技术学院 洛阳 471022)

摘 要 为了避免在图像放大时图像中出现锯齿和模糊边缘的现象,分析了最近邻插值模型和曲面拟合模型,提出了一种基于弹性模型的图像放大算法,给出了插值运算的数学公式,模拟了不同算法作用于图像放大的输出结果。实验结果表明,该算法能有效地应用于数字图像的放大处理,得到的图像轮廓清晰,边界分明,且算法简单,易于实现。

关键词 弹性模型,曲面拟合模型,最近邻插值模型,图像放大
中图法分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Image Zoom Algorithm Based on the Spring Model

KANG Mu LI Yong-liang
(Academy of Information Technology, Luoyang Normal University, Luoyang 471022, China)

Abstract To avoid the phenomenon of jaggy and blur edges during zoom image, after analyzing the nearest neighbor interpolation model and the surface fitting model, an image zoom algorithm was proposed based on the spring model. The interpolation formula was presented and the output results concerning on image zoom were simulated based on different algorithms. The result of experiment shows that the proposed method is able to maintain clear borders of source image and the algorithm is efficient in computation for making image zoom.

Keywords Spring model, Surface fitting model, Nearest neighbor interpolation model, Image zoom

图像缩放也称作图像重采样、图像分辨率转换、尺度变换、几何变换[1],在图像处理中有着重要的作用。好多图像识别算法都自称具有平移不变性、尺度不变性、旋转不变性等,对这些算法的验证一方面可以从理论上推导,但更重要的是实际实验效果,这就需要有不同大小的实验图像;在实际应用中,有些实物的图像可以从不同角度、不同距离多次拍摄,这可以为验证图像识别算法的众多特性提供充足的实验图像。如果敌方潜入我国领空的飞机想拍摄众多不同角度、不同距离的图像,是不现实的,这就需要对少量的图像进行缩放,以满足需要。图像插值在图像处理中也有着重要的应用,包括为适应特殊显示设备,如液晶显示屏、等离子彩电、数字高清晰度电视显示设备等进行图像分辨率的转换;为使用户专注于图像的某个细节或获得图像的整体概貌而进行图像的缩放;为进行图像几何变换进行图像的重采样等[2]。

采用经典的插值方法(如最近邻点插值、线性插值、三次样条插值等)插值后其图像在物体的边缘会出现模糊或锯齿等现象,还可能出现"马赛克"现象[3],这是因为这些传统的图像缩放方法的缩放过程使用了统一的数学模型,且数学模型不十分合理,对于图像中物体的边缘部分的高频信息会有所损失。研究表明,人眼对图像的边缘部分特别敏感,缩放后图像边缘的视觉效果对一幅图像的质量有着十分重要的影响。为了使插值后图像的边缘保持良好的特性,一些学者提出了一些基于边缘的插值方法[4,5]。基于边缘移动匹配法[4]首先根据相关性最小准则来确定物体的边缘,然后根据检测出的边缘调整待检测点周围像素点所占插值的权重。该算法在一定程度上减少了物体边缘的锯齿,但对于一些比较平缓的边缘仍然不能避免锯齿的出现;而且该边缘检测算法缺少保护措施,如果扩大边缘检测的范围,会出现一些假边缘,缩放图像会出错,视觉效果比较差。

有的学者提出了一种改进的边缘自适应图像缩放算法(edge adaptive scaling algorithm, EASA)[6]。首先它需要检测图像的边缘,需要计算边缘的模糊度和延续度;然后对于图像中存在边缘方向的区域和不存在边缘方向的区域分别采用不同的插值方法进行插值,故算法复杂度较高。

有的学者提出了曲面拟合法[7],以图像内任意相邻的、可组成正方形的4个点的范围拟合成双曲面,经过一定的运算得到待插入点的值。它的效果好于最近邻法、双线性插值法、双三次插值法等,但当图像缩放比例比较大时,边缘处仍然存在细小的锯齿现象。

另外,目前所有的这些插值算法都是在目标图像中的像素点在原图像中找不到对应的像素点的情况下,利用原图像中存在的像素点经过一定的算法计算得到目标图像中的像素点。如果目标图像中的像素点在原图像中有对应的像素点,则直接将原图像中对应的像素点复制到目标图像中,不再需要插值。根据常识可知,图像在缩放的过程中某一点的像素值不但与它本身的像素值有关,而且与它周围的像素值有关。

到稿日期:2008-11-24 返修日期:2009-02-10 本文受河南省教育厅自然科学研究项目(2007520035)资助。
康 牧(1968—),男,博士研究生,副教授,研究方向为智能信息处理与模式识别,E-mail:kmuwd@sina.com;李永亮(1975—),男,,硕士,讲师,研究方向为经济信息管理。

如果将原图像中有对应关系的像素点直接复制过来，在缩放后的图像的边缘部分会出现特别亮或特别暗的像素点，视觉效果不是很好。

本文提出了一种基于弹性模型的图像放大算法，在对图像进行放大之前，先对原图像中的像素值根据它周围的像素值进行一定的调整，然后根据不同的放大倍数对原图像中不存在的对应像素点进行插值处理。实验结果表明，此方法可以取得比较好的效果。

1 最近邻插值算法和曲面拟合算法

文献[8]中给出了图像比例放大的最近邻算法：最简单的图像比例放大是水平方向和垂直方向的放大比例相同，放大比例都是 $Ratio=2$，此时放大后图像中的(0,0)像素点对应于原图像中的(0,0)像素点；(0,2)像素点对应于原图像中的(0,1)像素点；(2,0)像素点对应于原图像中的(1,0)像素点，(2,2)像素点对应于原图像中的(1,1)像素点，依此类推。图像放大之后，因为承载的信息量多了，所以画布可能相应地增大，此时在放大后的图像中存在许多“空洞”像素点，这些像素点在原图像中没有对应的像素点。最近邻法用式(1)计算这些“空洞”像素点的像素值：

$$I(x,y)=f(i,j)\quad i=int(0.5+x/ratio)$$
$$j=int(0.5+y/ratio) \tag{1}$$

其中，$I(x,y)$表示目标图像中第 x 行、第 y 列的像素值，$f(i,j)$表示原图像中第 i 行、第 j 列的像素值，$int()$是取整函数。这种插值方法就是将目标图像的像素点映射到原图像中，原图像中哪一点离它最近，就用哪一点来代替目标图像的像素点，故称之为“最近邻插值法”。

文献[7]中给出曲面拟合的简化算法：以图像内任意相邻的可组成正方形的 4 个点为顶点的范围拟合成双曲面，原理如下：用 $f(x,y)$表示一幅图像，图像内由任意相邻 4 点组成的单位正方形顶点的像素值已知，则该正方形内任意一点 $f(x,y)$的像素值可表示为：

$$f(x,y)=ax+by+cxy+d \tag{2}$$

令正方形的 4 个顶点分别为 $f(0,0)$，$f(0,1)$，$f(1,0)$，$f(1,1)$，则式(2)中系数 a,b,c,d 可由 4 个顶点的值确定。将 4 个顶点分别代入式(2)，得：

$$\begin{cases} f(0,0)=d \\ f(0,1)=b+d \\ f(1,0)=a+d \\ f(1,1)=a+b+c+d \end{cases} \tag{3}$$

由式(3)求出 a,b,c,d，代入式(2)，即可得到该正方形内任意一点的表达式，如式(4)所示：

$$f(x,y)=[f(1,0)-f(0,0)]x+[f(0,1)-f(0,0)]y+[f(1,1)+f(0,0)-f(0,1)-f(1,0)]xy+f(0,0) \tag{4}$$

其中，若令 x,y 均为 0.5，即可求出正方形中心点的像素值：

$$f(0.5,0.5)=[f(0,0)+f(0,1)+f(1,0)+f(1,1)]/4 \tag{5}$$

2 最近邻插值算法和曲面拟合算法存在的缺陷

最近邻插值法的优点是：计算简单，速度快。缺点是：当图像放大倍数较大时容易产生“锯齿”型边缘，且图像容易出现“马赛克”现象，放大后的图像视觉效果比较差。

曲面拟合法放大图像时，由于考虑了待插值点周围相邻的可组成正方形的 4 个像素点，因此图像放大的效果比最近邻法好得多，从根本上消除了“马赛克”现象。但是它对目标图像中的像素点在原图像中有对应的像素点直接将原图像中对应的像素点复制到目标图像中，当图像放大的比例较大时，在边缘部分会出现特别亮或特别暗的像素点，也会出现细小的“锯齿”型边缘，且视觉效果不是很好。

3 新模型和新算法的提出

根据常识可知，一幅图像的逻辑内容与承载它的载体没有必然的联系，一幅图像打印在纸上和画在橡皮薄膜上没有本质的不同，所以可以把一幅图像想象成一个景物画在一张有一定长宽的橡皮薄膜上，图像的放大相当于拉着橡皮薄膜的 4 个角向外拉伸。而图像的缩小则相当于一个景物画在一张拉紧的橡皮薄膜上，画好后缓慢松开使橡皮薄膜自然收缩到一定程度。橡皮薄膜在拉伸与收缩时和弹簧的拉伸与收缩有相同的性质，故这里建立的模型称为“弹性模型”。

一张橡皮薄膜相当于用若干条橡皮筋纵横交错组成，橡皮薄膜的拉伸(或收缩)可以看成是水平和垂直方向上拉伸(或收缩)的合成。而橡皮薄膜水平或垂直方向的拉伸(或收缩)可以看成水平或垂直方向上一根根橡皮筋的拉伸(或收缩)。把一根各处涂上不同颜色的、拉紧的橡皮筋慢慢放松，可以看到橡皮筋上各点的颜色逐渐变化的过程。收缩后橡皮筋上某处的颜色不但与该处原来的颜色有关，还与它前后相邻区域位置上的颜色有关，而且离它近的位置的颜色对它的颜色影响较大，远的则影响较小。根据常识，“在弹簧弹性的范围内，弹簧伸长或缩短的距离与弹簧所受到的拉力或压力成正比”可知，弹簧的弹性方程如式(6)所示：

$$L=K\times F \tag{6}$$

其中，L 表示弹簧伸长或缩短的距离，F 是弹簧所受到的拉力或压力，K 是一个常数。式(6)是一个线性方程，也就是说弹簧的距离与拉力或压力之间的关系是线性关系，所以橡皮筋的变化关系也是线性关系，从而图像的缩放变化应该是水平方向和垂直方向线性变化的合成。

基于“橡皮模型”的图像缩小算法按如下步骤进行：

假设图像水平和垂直方向都缩小 $Ratio$ 倍，则对于水平方向上的一行像素用式(7)计算压缩后该行相应的像素点：

$$I(x,y/Ratio)=[f(x,y)+\sum_{i=1}^{Ratio-1}f(x,y-i)\times(Ratio-i)/Ratio+\sum_{j=1}^{Ratio-1}f(x,y+i)\times(Ratio-i)/Ratio]/Ratio \tag{7}$$

说明：这里假设是整数倍地缩小原图像，也就是说 $Ratio$ 是整数(如果图像按任意比例缩小，则需要计算选择的行和列)，在式(7)中 y 是 $Ratio$ 的整数倍(注：在原图像的边缘部分需要作特别处理)，(x,y)是原图像中的像素点与压缩后该行的$(x,y/Ratio)$像素点相对应。该式考虑了原图像中点(x,y)和它前面的 $Ratio-1$ 个点，还有它后面的 $Ratio-1$ 个点。点(x,y)的权值最大为 1，其它点的权值从远到近依次是 $1/Ratio,2/Ratio,\cdots,(Ratio-1)/Ratio$，它们的权值从远到近是线性关系。

对压缩后的各行用式(8)计算压缩后该列相应的像素点：

$$I(x/Ratio,y)=[f(x,y)+\sum_{i=1}^{Ratio-1}f(x-i,y)\times(Ratio-i)/Ratio+\sum_{j=1}^{Ratio-1}f(x+i,y)\times(Ratio-i)/Ratio]/Ratio \quad (8)$$

关于式(8)的说明与式(7)基本相同，不再重述。

图像放大的情况与图像缩小的情况稍有不同。把一根各处涂上不同颜色的橡皮筋慢慢拉长，可以看到橡皮筋上各点的颜色逐渐变化的过程。拉长后橡皮筋上某处的颜色不但会影响它周围区域的颜色，而且它自身的颜色也会有所变化，它自身颜色的变化只可能受拉长前和它前后相邻位置上颜色的影响，不可能受更远位置上颜色的影响，故对原图像的每一行元素按式(9)进行计算处理：

$$f(i,j)=(f(i,j-1)/2+2*f(i,j)+f(i,j+1)/2)/3 \quad (9)$$

对按行处理过的图像再对每列元素按式(10)进行计算处理：

$$f(i,j)=(f(i-1,j)/2+2*f(i,j)+f(i+1,j)/2)/3 \quad (10)$$

对处理后的图像按如下步骤进行放大处理：

假设图像水平和垂直方向都放大 $Ratio$ 倍，则对于水平方向上的一行像素用式(11)计算放大后该行相应的像素点：

$$I(i,y)=I(i,y/Ratio)*(1-y\%Ratio/Ratio)+I(i,y/Ratio+1)*(y\%Ratio)/Ratio \quad (11)$$

其中，/代表“整除”运算，%代表“取余”运算，式(11)是对目标图像中同一行的像素点处于原图像中同一行的两个像素点之间的像素点的插值，离插值点近的已经存在的像素点的权值大，远的权值小。

对放大后的各行用式(12)计算放大后该列相应的像素点：

$$I(x,j)=I(x/Ratio,j)*(1-x\%Ratio/Ratio)+I(x/Ratio+1,j)*(x\%Ratio)/Ratio \quad (12)$$

4 实验结果与分析

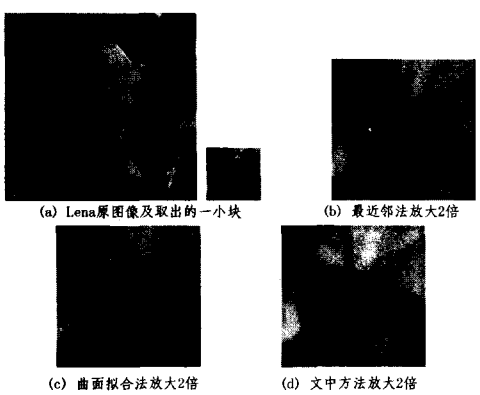


图1 实验结果1

用大量的图片对本文所提出的算法进行了实验，结果表明有较好的效果。现对 Lena 原图像利用最近邻插值法、曲面拟合法和本文中算法分别做图像放大实验(行列放大比例相同)，放大倍数分别为2倍(行列都放大2倍)、4倍和8倍。另外，图像放大后承载的信息量大了，图像正常显示的尺寸也比较大，要想看到不同算法对图像处理后的效果，所占的篇幅也比较大，故在 Lena 原图像中取出具有代表性的一小块图像展示图像放大后的效果。另外，为了节省篇幅，缩小了 Lena 原图像和放大8倍的实验结果图像的尺寸，对观看实验效果稍有影响，但影响不大。放大2倍的实验结果如图1所示。

放大4倍的实验结果如图2所示。

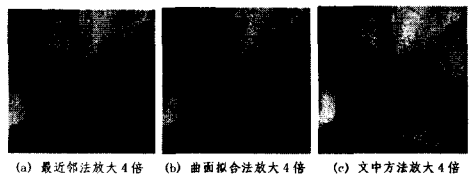


图2 实验结果2

放大8倍的实验结果如图3所示。

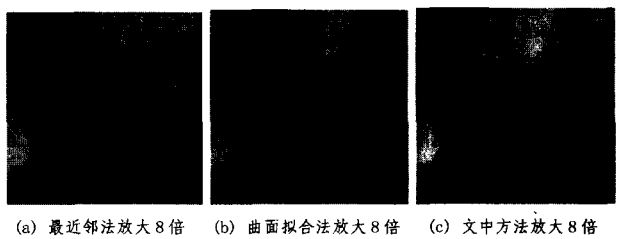


图3 实验结果3

从实验1的结果来看，最近邻法已经能看到锯齿型边缘的现象，但“锯齿”还比较小。曲面拟合法和本文中方法在视觉效果上区别也不大，几乎看不出它们的区别。

从实验2的结果来看，在放大4倍的情况下，最近邻法的结果图像中锯齿型边缘现象已经十分严重，且出现了明显的“马赛克”现象。曲面拟合法的结果图像中也有细小锯齿型边缘，且在边缘部分存在非常亮或暗的像素点。而本文中方法所得到的结果图像中看不到锯齿型边缘的现象，且在边缘部分也没有非常亮或非常暗的像素点。这说明最近邻法没有考虑周围其它像素的影响，故效果最差；曲面拟合法考虑到了周围其它像素的影响，故效果比最近邻法要好一些，但是它将原图像中的像素点直接复制到目标图像中，只考虑了对目标图像在原图像中没有对应点的那些像素点进行插值，故效果还不是很理想；本文中方法根据“弹性模型”对原图像中所有的像素点都进行处理，故效果比较理想。

从实验3的结果来看，可以得到与实验2基本相同的结论，只是最近邻法的结果图像中锯齿型边缘现象和马赛克现象更严重；曲面拟合法在实验3和实验2中的结果差别不大，且始终没有出现马赛克现象。本文中方法的效果是比较理想的。

综合考虑3个实验结果，可知最近邻法优点是算法简单，但是在图像放大倍数比较大时，容易出现锯齿型边缘和马赛克现象；曲面拟合法在图像放大倍数比较大时，会出现细小的锯齿型边缘，但不会出现马赛克现象，这说明曲面拟合法也是一种相当理想的插值算法。但目前所有的插值算法，包括曲面拟合法在内，都只考虑了对目标图像在原图像中没有对应点的那些像素点进行插值，对于存在对应像素点的情况则直接将原图像中的像素点复制到目标图像中，这会导致在边缘部分出现非常亮或非常暗的像素点的现象，且可能出现细小的锯齿型边缘，视觉效果稍差。而本文中方法根据“弹性模型”对原图像先进行预处理，然后进行相应的插值，效果是比较理想的。

结束语 本文从避免图像放大时图像容易产生锯齿型边缘现象和马赛克现象入手，分析了传统的最近邻插值算法和曲面拟合算法存在的不足，提出了一种适用于图像缩放的“弹性模型”，给出了相应的算法。通过实验说明该算法所得结果图像的效果明显好于最近邻算法，比曲面拟合算法也要好一些。说明本文提出的“弹性模型”是合理的。另外，本文只给出了“弹性模型”在图像放大运算中的实验结果。如果按文中介绍的基于“弹性模型”的图像缩小算法做出图像缩小的实验结果，将更能说明本文提出的“弹性模型”的合理性。

参 考 文 献

[1] 吴均，朱重光. 带锐度保持的斜投影 B-样条图像缩放[J]. 遥感学报，2002，6(2)：108-112

[2] Zhao M，de H G. Content-adaptive video up scaling[C]// Proceedings of Application Specif ic Integrated Circuit. IEEE，2003：151-156

[3] Hentschel C. Generic method for 2D image resizing with simple，non-separable filters[C]// International Conference on Consumer Electronics. IEEE，2003：14-15，17-19

[4] 张俊华，陈建华，王逍. 基于边缘移动匹配法的图像插值[J]. 计算机工程与应用，2003，39(6)：73-75

[5] Nira S，Hagit A S，Ilan S，et al. Adaptive low complexity algorithm for image zooming at fractional scaling Ratio[C]// 21st Convention of the Electrical and Electronic Engineers. Israel，2000：253-256

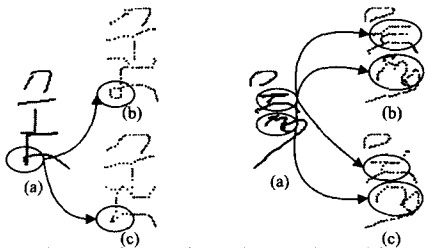
[6] 王效灵，陈涛，汪颖，等. 边沿自适应图像缩放算法[J]. 浙江大学学报：工学版，2006，40(9)：1507-1510

[7] 肖建平，邹雪城，刘政林，等. 基于 LCD 定标器的文本型图像缩放算法研究[J]. 华中科技大学学报：自然科学版，2005，33(5)：46-48

[8] 何东健，耿楠，张义宽，等. 数字图像处理[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2003：115-120

(上接第 239 页)

信息被放大了，导致了字丁的过度杂乱，严重影响了识别效果；而通过对比可以得出，冗余信息去除后，非线性归一化得到了较好的形态，也达到了均匀笔迹密度的目的。



(a)原始笔记图像(b)未经数学形态学处理的非线性归一化结果
(c)经过数学形态学处理的非线性归一化结果

图 8 非线性归一化后对比图

因为该方法不是根据特定语言文字而进行的特殊处理，所以，该预处理方法不仅适用于藏文，也适用于其他语言的字符。通过调节腐蚀与膨胀的结构元素，可以达到不同的效果。因此，根据特定的字符形态，不断地进行试验与调节，与其它预处理方法配合使用，从而进一步规范化字符形态，为特征提取打好基础。

在识别结果方面，不采用形态学处理时，封闭测试的识别率是 97.7226%，采用本文的方法后，识别率提高到 98.22%，说明该方法有效。由于是联机手写识别，实时性需要得到保证。在对 20259 个字进行特征提取时共用时 1291 秒，即每个字丁的特征提取时间为 0.06 秒；对所有字进行模板匹配测试共用时 120 秒，则每个字丁识别时间为 0.006 秒，因此对一个字丁的识别总时间为 0.066 秒，满足实时性要求。

结束语 本文在研究数学形态学的基础上，提出了一种将数学形态学应用于手写体字符识别的预处理方向的方法，将图像处理与模式识别进行了有机结合。从实验可以看出，该方法通过对原始字符图像进行闭操作与细化，可以有效地降低和消除由于手写板笔尖“抖动”或者书写者本人“涂改”所造成的大量冗余信息，并且处理后保持了字符的原始形态，是一种可行的方法。通过配合其他方法和有效的识别器，可以达到较好的识别效果。

参 考 文 献

[1] 边肇祺，张学工. 模式识别(第二版)[M]. 北京：清华大学出版社，2002

[2] Bai Zhen-Long，Huo Qiang. A Study on the Use of 8-Directional Features for Online Handwritten Chinese Character Recognition [C]// Proceedings of the Eighth International Conference on Document Analysis and Recognition. 2005：262-266

[3] Zhen-Long B A I，Huo Q. A Study of Nonlinear Shape Normalization for Online Handwritten Chinese Character Recognition：Dot Density vs. Line Density Equalization [C]// Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06). 2006，2：921-924

[4] 冈萨雷斯，等. 数字图像处理(第二版)[M]. 阮秋琦，等译. 北京：电子工业出版社，2006

[5] He Yuliang，Tian Jie，Luo Xiping，et al. Image Enhancement and *Minutia Matching in Fingerprint Verification*[J]. Pattern Recognition Letters，2003，24(9-11)：1349-1360

[6] Patil P M，Suralkar S R，Sheikh F B. Rotation Invariant Thinning Algorithm to Detect Ridge Bifurcations for Fingerprint Identification[C]// Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'05). 2005

[7] 叶茂，闵春平，李传光. 基于 BP 神经网络图像的指纹细化算法[C]// Proceedings of the 26th Chinese Control Conference. July 2007：145-148

[8] Wang Gwo-en，Wang Jhing-fa. A New Hierarchical Approach for Recognition of Unconstrained Handwritten Numerals[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics，1994，40(3)：428-436

[9] Senior A W，Robinson A J. An Off-Line Cursive Handwriting Recognition System[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence，1998，20(3)：309-321

[10] Jeong Cha-Sup，Jeong Dong-Seok. Hand-written Digit Recognition Using Fourier Descriptors and Contour Information[J]. IEEE Tencon，1999：1283-1286

[11] Zhang T Y，Suen C Y. A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Pattern[J]. Communication of the ACM，1984，27(6)：236-239

[12] Wang P S P，Zhang Y Y. A Fast and Flexible Thinning Algorithm[J]. IEEE Transactions on Computers，1989，38(5)：741-745