

基于混合插值样条的保边缘图像插值算法

盛敏^{1a}, 苏本跃^{1b,2}

(1. 安庆师范学院 a. 数学与计算科学学院; b. 计算机与信息学院, 安徽 安庆 246011; 2. 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031)

摘要: 结合混合插值样条(BIS)性质的特点, 给出一类新的自适应图像插值算法。该方法可满足任意正实数倍的放缩要求, 由于采用单核处理, 而且插值像素点时无需求解方程组, 因此计算复杂性较小。同时采用弹性边界的方法可以有效保持边缘像素原有特征。实验结果表明, 该方法与三次多项式样条方法相比, 具有更清晰的边界。

关键词: 图像插值; 非线性插值样条; 分段插值; 弹性边界

Edge-preserving Image Interpolation Algorithm Based on Blending Interpolation Spline

SHENG Min^{1a}, SU Ben-yue^{1b,2}

(1a. School of Mathematics and Computing Science; 1b. School of Computer & Information, Anqing Teachers College, Anqing 246011, China;

2. Hefei Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

【Abstract】 This paper combines the characteristics of Blending Interpolation Spline(BIS), proposes a new method for image interpolation. The method can meet the demands of the images zoomed by arbitrary positive real number times. Using a single kernel function and without presenting additional computation in image interpolation in order to satisfy the interpolating conditions, it provides the less computational complexity. The edge-preserving characters can be realized by the flexible border. Experimental results show the method has more clear border compared with the normal cubic polynomial methods.

【Key words】 image interpolation; nonlinear interpolation spline; piecewise interpolation; flexible border

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.06.075

1 概述

多媒体通信在现代网络传输中有着重要作用, 图像传输是其中的一项重要内容, 为了保证具有较高的传输速率, 数字图像通过信道传输时往往要求传输的图像具有较低的分辨率, 而终端设备一般具有较高的分辨率, 因此, 插值放大提高图像分辨率是一个非常重要的问题。传统的插值模型大多是通过匹配多项式函数得到像素灰度值, 这往往会出现边缘模糊现象。针对该问题有一些学者提出了自适应保边缘的图像插值技术^[1-3]。

本文结合一类新的图像插值核函数的性质特点, 研究图像边缘区域产生模糊的原因, 并考虑到数字图像实时传输的要求, 给出了一种新的图像放大和缩小处理方法。该方法可用于一般灰度或彩色图像的任意正实数倍的放缩要求, 由于采用单核处理, 而且插值源图像像素时无需付出额外计算代价以满足插值条件, 因此计算复杂性较小。同时采用弹性边界的方法使得在插值图像边缘像素时能够尽可能保持边缘像素原有特征, 该方法比上述传统的处理方法具有更清晰的边界。另外, 考虑到文献[4]通过数值模拟与仿真, 在比较了一些通用的图像插值技术后指出, C^2 连续的三次插值方法优于其他三次多项式方法。因此, 本文提出的算法主要与传统三次多项式样条方法进行比较。

2 基于混合插值样条的图像插值算法

设原始离散图像 I 大小为 $m \times n$, 其中, m, n 分别为横向、纵向像素数。换言之, 此离散图像是由 n 个扫描行、 m 个扫描列组成。

记 (x, y) 为目标图像上的任一点, 算法的核心问题就是确

定 (x, y) 处的颜色值。

2.1 颜色分段的自适应阈值确定

首先引进一个自适应阈值, 用于刻画颜色扫描线区间的边界, 记作 α 。当相邻两像素的颜色值之差绝对值大于 α 时, 就认为两像素落在 2 个不同的像素颜色连续区间内, 反之, 则认为两像素落在同一个像素颜色连续区间内。从某行扫描线的第 1 个像素出发, 依次计算 2 个相邻像素颜色值之差, 一旦差值大于 α , 便认为该两相邻像素分属于前后不同的像素颜色连续区间。遍历该扫描行上所有像素, 得到若干个不同的颜色连续区间。阈值 α 的确立使用图像梯度模值大小作为约束, 并由以下方法得到:

(1) 计算输入图像 I 的逐个像素点处的梯度值: 记作 $(G_x, G_y) = \text{gradient}(I)$ 。

(2) 令 k_0 为 x 方向扫描线上 G_x 非零的像素点的个数, k_1 为 y 方向扫描线上 G_y 非零的像素点的个数, 并令:

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{k_0} \sum_{j=1}^{k_1} (|G_x|)_{i,j}^0}{k_0}, \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{k_0} \sum_{j=1}^{k_1} (|G_y|)_{i,j}^0}{k_1},$$
$$b_0 = \frac{\max_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} (|G_x|)_{i,j}^0 + \min_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} (|G_x|)_{i,j}^0}{2},$$

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60773128); 安徽省自然科学基金资助重点项目(KJ2009A123)

作者简介: 盛敏(1975—), 女, 博士, 主研方向: 数字图像处理; 苏本跃, 教授、博士

收稿日期: 2010-07-26 **E-mail:** bysu1219@yahoo.com.cn

$$b_1 = \frac{\max_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} (|G_x|)_{i,j}^0 + \min_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} (|G_y|)_{i,j}^0}{2}$$

$$c_0 = \lfloor |a_0 - b_0| \rfloor, c_1 = \lfloor |a_1 - b_1| \rfloor$$

其中, $(|G_x|)_{i,j}^0, (|G_y|)_{i,j}^0$ 表示 (i, j) 处的非零梯度模值; $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整运算。

(3) 令 $\alpha = \min(c_0, c_1)$ 。

2.2 弹性边界的预处理

通过 2.1 节自适应阈值的确定可以区别颜色连续区间和颜色间断区间。若用 “——” 及 “——” 来标记相邻两像素是否为连续区间或间断区间, 则对于间断的两相邻像素在左右各自延拓一个像素时, 其间断或连续性必有以下 4 种情形, 如图 1 所示。

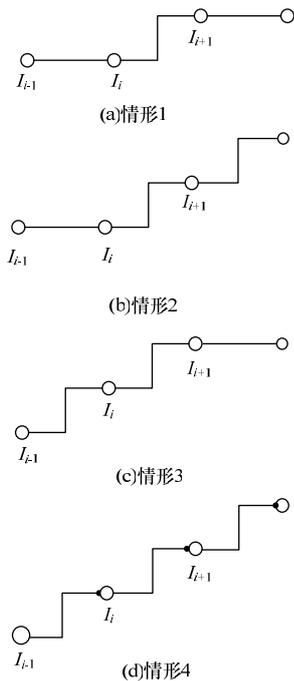


图 1 像素延拓

Ramponi 将扭曲距离概念应用到图像插值中^[5], 传统的线性插值可表示为:

$$I' = (1-s)I_i + sI_{i+1}, 0 \leq s \leq 1$$

在文献[5]中, 令 $s' = s - A_0ks(s-1)$, 其中, $0 < k \leq 1$;

$$A_0 = \frac{|I_{i+1} - I_{i-1}| - |I_{i+2} - I_i|}{L-1}$$

对于 8 位图像, $L=256$, k 表示扭曲程度。

在本文的算法中, 假若对间断的两相邻像素 I_i 及 I_{i+1} 进行插值时, 那么在 I_i 右边及 I_{i+1} 左边各增添一个辅助像素 I'_0 及 I'_1 , 令:

$$A_1 = \frac{|I_{i+2} - I_i| - |I_{i+3} - I_{i+1}|}{L-1}$$

$$s'_0 = s - A_0ks(s-1), s'_1 = s - A_1ks(s-1)$$

则辅助像素 I'_0 及 I'_1 的取值视上述 4 种情形分别为:

图 1(a): $I'_0 = (1-s'_0)I_{i-1} + s'_0I_i, I'_1 = (1-s'_1)I_i + s'_1I_{i+1}$

图 1(b): $I'_0 = (1-s'_0)I_{i-1} + s'_0I_i, I'_1 = I_{i+1}$

图 1(c): $I'_0 = I_i, I'_1 = (1-s'_1)I_i + s'_1I_{i+1}$

图 1(d): $I'_0 = I_i, I'_1 = I_{i+1}$

再令 $d = \lceil \max(rs'_0, rs'_1) \rceil$, 则在像素 I_i 和像素 I'_0 之间插入

$d-1$ 个像素, 在像素 I'_1 和像素 I_{i+1} 之间插入 $r-d$ 个像素, 其中, r 为图像放大的倍数。

2.3 基于混合插值样条的插值核函数

在文献[6]中定义了一类拟三次 B 样条插值样条基函数 $QB(x)$ 。给定插值节点 $-2 < -1 < 0 < 1 < 2$, 重新定义符合需要的图像插值核函数, 考虑到 $QB(x)$ 是对称的, 仅需在子区间 $(0, 2)$ 构造符合要求的核函数即可, 令:

$$QB(x) = \begin{cases} -\frac{1}{4} + \frac{|x|}{2} + \cos \frac{\pi}{2}|x| + \frac{1}{4} \cos \pi|x| - \frac{1}{2\pi} \sin \pi|x| & |x| \leq 1 \\ -\frac{1}{4} - \frac{|x|}{2} + \cos \frac{\pi}{2}|x| + \frac{1}{4} \cos \pi|x| + \frac{1}{2\pi} \sin \pi|x| & 1 < |x| \leq 2 \\ 0 & |x| > 2 \end{cases}$$

经简单计算不难看出, 拟三次 B 样条插值核函数 $QB(x)$ 在子区间 $(0, 1)$ 中比在子区间 $(1, 2)$ 中更加逼近理想插值核函数。同时, 相比较于三次 B 样条核函数、三次插值样条核函数以及 Catmull-Rom 样条核函数等传统三次多项式样条核函数, 拟三次 B 样条插值核函数 $QB(x)$ 具有权性、对称性、 C^2 连续性等优点, 且无需求解方程组即可满足插值条件, 计算量较小, 并拥有一个形状调节的自由度。

2.4 保边缘自适应图像插值算法

首先假设将低分辨率图像 $I_{m \times n}$ 放大为高分辨图像 $I_{rm \times rn}$, 另外, 将拟三次 B 样条图像插值核函数 $QB(x)$ 重新参数化, 在规范区间 $t \in [0, 1]$ 得到:

$$B_0(t) = \frac{1}{4} + \frac{t}{2} - \sin \frac{\pi}{2}t - \frac{1}{4} \cos \pi t + \frac{1}{2\pi} \sin \pi t$$

$$B_1(t) = -\frac{1}{4} + \frac{t}{2} + \cos \frac{\pi}{2}t + \frac{1}{4} \cos \pi t - \frac{1}{2\pi} \sin \pi t$$

$$B_2(t) = \frac{1}{4} - \frac{t}{2} + \sin \frac{\pi}{2}t - \frac{1}{4} \cos \pi t - \frac{1}{2\pi} \sin \pi t$$

$$B_3(t) = -\frac{3}{4} + \frac{t}{2} - \cos \frac{\pi}{2}t + \frac{1}{4} \cos \pi t + \frac{1}{2\pi} \sin \pi t$$

在连续性区间和间断性区间插值情况分别如图 2 所示。

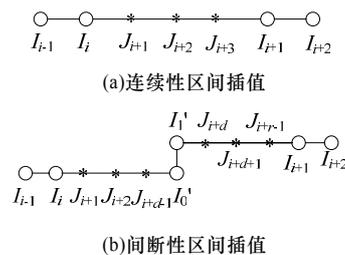


图 2 在像素 I_i 及 I_{i+1} 之间插值 $r-1$ 个像素示意图

插值像素 $J_{i+1}, J_{i+2}, \dots, J_{i+r-1}$ 的灰度值可由以下算法得到:

Step1 计算自适应阈值 α 。

Step2 if $|I_{i+1} - I_i| \leq \alpha$

then 像素 I_i 及 I_{i+1} 位于连续性区域

else 像素 I_i 及 I_{i+1} 位于间断性区域

Step3 if 像素 I_i 及 I_{i+1} 位于连续性区域, then 令:

$$I(t) = I_{i-1}B_0(t) + I_iB_1(t) + I_{i+1}B_2(t) + I_{i+2}B_3(t), t \in [0, 1]$$

对 $I(t)$ 等间隔采样 $r-1$ 个值, 即可得到像素 $J_{i+1}, J_{i+2}, \dots, J_{i+r-1}$ 的灰度值。

if 像素 I_i 及 I_{i+1} 位于间断性区域, then 令:

$$\begin{cases} I_1(t) = I_iB_0(t) + I'_0B_1(t) + I_iB_2(t) + I'_0B_3(t) \\ I_2(t) = I'_1B_0(t) + I_{i+1}B_1(t) + I'_1B_2(t) + I_{i+1}B_3(t) \end{cases} t \in [0, 1]$$

对 $I_1(t)$ 等间隔采样 $d-1$ 个值, 即可得到像素 $J_{i+1}, J_{i+2}, \dots,$

J_{i+d-1} 的灰度值, 对 $I_2(t)$ 等间隔采样 $r-d$ 个值, 即可得到像素 $J_{i+d}, J_{i+d+1}, \dots, J_{i+r-1}$ 的灰度值。

保边缘自适应图像插值算法框图如图 3 所示。

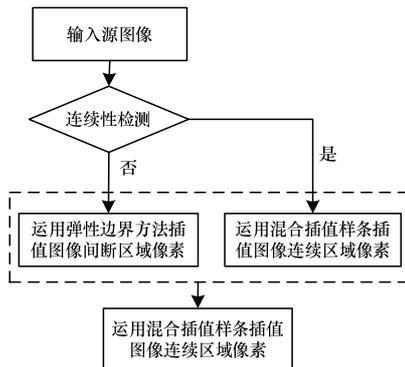


图 3 保边缘自适应图像插值算法框图

3 实验结果及分析

分别取自本文图像及自然景物图像作为仿真实例。本节实例中, 处理弹性边界时均取 $k=0.2, s=1/2$, 图 4(a)为运用三次样条方法放大的效果图; 图 4(b)为运用本文方法放大的效果图, 放大倍数横向、纵向均为 4 倍。从图 4 中可见, 图像经放大经三次样条方法放大后明显出现边缘模糊现象, 而本文方法放大的边界则较为清晰。

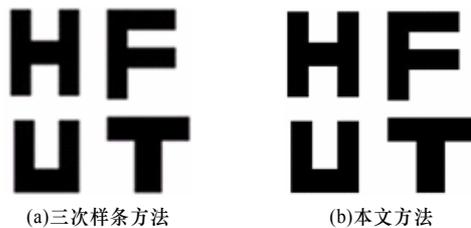
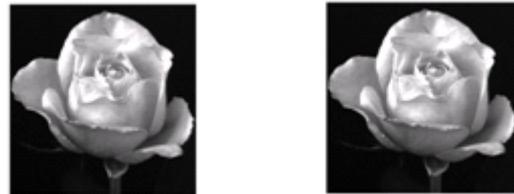


图 4 文本图像放大的效果图

图 5 为从源图像中隔若干行抽取后再用三次样条方法及本文方法分别放大后的效果图, 本例中为隔三行抽取, 并放大 4 倍得到的目标图像。从图 5 可以看出, 运用本文方法, 不同颜色区域之间的边界清晰, 层次分明。而且本文采取单核处理, 并根据新提出的插值核函数的特点, 计算复杂度较三次样条方法有所降低。表 1 为采用三次样条方法和本文方法进行缩放时所花费时间。



(a)三次样条方法

(b)本文方法

图 5 自然景物图像放大的效果图

表 1 2 种方法计算所花费时间对比

方法	图 4	图 5
三次样条	0.828	32.437
本文方法	0.578	28.625

4 结束语

本文提出一种新的保边缘自适应图像插值算法。根据文中定义的拟三次插值样条图像插值核函数的性质和特点, 使得图像插值相对于传统的多项式插值核函数具有较好的连续性、插值性等优点, 而且计算复杂度低。同时, 自适应阈值的确定和弹性边界的选取使得运用本文方法插值图像可以有效去除边缘位置的块状效应, 使得图像边界清晰, 层次分明。

参考文献

- [1] Hu Min, Tan Jieqing. Adaptive Osculatory Rational Interpolation for Image Processing[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2006, 195(5): 46-53.
- [2] 张慧芯, 屈小波, 闫敬文. 基于斜坡边缘模型的图像插值新方法[J]. 计算机工程, 2009, 35(17): 206-208.
- [3] 江 雯, 陈更生, 杨 帆, 等. 基于 Sobel 算子的自适应图像插值算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(7): 215-217.
- [4] Lehmann T M, Gönner C, Spitzer K. Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing[J]. IEEE Trans. on Medical Imaging, 1999, 18(11): 1049-1075.
- [5] Ramponi G. Warped Distance for Space-variant Linear Image Interpolation[J]. IEEE Trans. on Image Process, 1999, 8(5): 629-639.
- [6] Su Benyue, Tan Jieqing. A Family of Quasi-cubic Blended Splines and Applications[J]. Journal of Zhejiang University Science A, 2006, 7(9): 1550-1560.

编辑 索书志

(上接第 217 页)

参考文献

- [1] Goyal V K. Multiple Description Coding: Compression Meet the Network[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2001, 18(5): 74-93.
- [2] Gamal A E, Cover T. Achievable Rates for Multiple Descriptions[J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1982, 28(6): 851-857.
- [3] Vaishampayan V A. Design of Multiple Description Scalar Quantizer[J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1993, 39(3): 821-834.
- [4] Goyal V K, Kovacevic J, Areal R, et al. Multiple Description Transform Coding of Images[C]//Proc. of International Conference on Image Processing. Chicago, USA: [s. n.], 1998: 674-678.
- [5] Servetto S D, Ramchandran K, Vaishampayan V A, et al. Multiple Description Wavelet Based Image Coding[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2000, 9(5): 813-826.
- [6] Miguel A C, Mohr A E, Riskin E A. SPIHT for Generalized Multiple Description Coding[C]//Proc. of International Conference on Image Processing. Kobe, Japan: [s. n.], 1999: 842-846.
- [7] 赵小青, 倪 林. 基于量化的差错网络下高效多描述图像编码[J]. 计算机工程, 2008, 34(23): 239-240.
- [8] Said A, Pearlman W A. A New, Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 243-250.

编辑 顾逸斐