

一种改进的边缘方向插值算法

陈小蕾 张俊 吴乐南

(东南大学无线电工程系, 南京 210096)

摘要 已有的边缘方向插值算法利用高低分辨率图像局部方差之间存在的对偶性实现自适应非线性插值。其性能明显优于传统线性插值算法,但图像边缘噪声可能仍然比较明显。为了获得更好的视觉效果,提出了一种改进算法,充分利用局部降采样像素之间的相关信息,用和被插点相邻的6个降采样像素估计高分辨率图像的局部协方差。该算法应用于灰度和彩色图像的分辨率增强,不仅降低了运算复杂度,而且有效地抑制了边缘噪声,进一步提高了插值图像的视觉质量。

关键词 非线性插值 图像处理 图像边缘

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)06-0684-04

An Improved Edge-directed Image Interpolation Algorithm

CHEN Xiao-qiang, ZHANG Jun, WU Le-nan

(Department of Radio Engineering, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract Regarding the inherent drawbacks of linear interpolation (edge blurring or artifact), nonlinear interpolation technique is studied in this paper. Existing new edge-directed interpolation algorithm utilizes the duality between high-resolution covariance and its low-resolution counterpart to realize adaptive nonlinear interpolation and obtains a much better visual quality of interpolated images than traditional linear interpolations. But interpolated images may still suffer from blurring edges or introducing artifacts around edge area. To achieve a better subjective quality, an improved algorithm is proposed in this paper. It makes full use of local relative information in the low-resolution image. Six downsampled neighbors are involved to estimate local covariance characteristics at high resolution. Two important applications of the algorithm are investigated: resolution enhancement of grayscale images and reconstruction of color images. Experimental results demonstrate that the improved algorithm not only decreases the computational complexity but also succeeds in reducing artifacts on the edges and substantially improves the visual quality of the interpolated images over conventional linear interpolation.

Keywords nonlinear interpolation, image processing, image edges

1 引言

图像插值算法可分为线性和非线性两大类。实践证明,就提高图像的视觉质量而言,非线性插值通常优于线性插值^[1~3]。边缘方向插值算法^[3],其基本思想是从低分辨率图像中估计局部协方差系数,然后根据高、低分辨率局部协方差之间的几何对偶关系,自适应地实现高分辨率插值。与传统线性插值相比,该方法显著提高了图像的视觉质量,但生成的图

像边缘噪声可能会比较大。为了进一步提高图像的视觉质量,提出一种改进算法,即充分利用低分辨率图像局部像素间的相关信息,用与被插点相邻的6个降采样像素估计该点的值。实验表明,该算法不仅降低了运算复杂度,而且可以有效地抑制图像的边缘噪声,视觉质量进一步提高。

2 算法描述

假设低分辨率图像 $X_{l,j}$ 和对应的高分辨率图像

$Y_{i,j}$ 分别是大小为 $M \times N$ 和 $aM \times aN$ 的矩形点阵^[3], 其中 a 是整型放大因子。不失一般性, 这里只考虑 $a=2$ 的情形, 且假设 $Y_{2i,2j} = X_{i,j}$ 。首先从 $Y_{2i,2j}$ 中估计 $Y_{2i+1,2j+1}$ 。只考虑 4 阶线性插值(如图 1 所示):

$$\hat{Y}_{2i+1,2j+1} = \alpha_0 Y_{2i,2j} + \alpha_1 Y_{2i+2,2j} + \alpha_2 Y_{2i+2,2j+2} + \alpha_3 Y_{2i,2j+2} \quad (1)$$

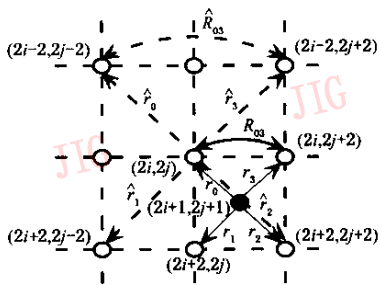


图 1 估计 $Y_{2i+1,2j+1}$ 时的几何对偶关系

假设自然图像是局部平稳高斯过程^[3]。根据经典 Wiener 滤波理论, 可得最优 MMSE 线性插值系数

$$a = R^{-1}r \quad (2)$$

其中, $R = [R_{kl}]$, $(0 \leq k, l \leq 3)$, $r = [r_k]$, $(0 \leq k \leq 3)$ 是高分辨率图像的局部协方差。比如, 可以定义 $r_0 = E[Y_{2i,2j}, Y_{2i+1,2j+1}]$ 。 $Y_{2i+1,2j+1}$ 未知, 所以不能直接计算 R_{kl} 和 r_k 。但高分辨率协方差 R_{kl}, r_k 和低分辨率协方差 \hat{R}_{kl}, \hat{r}_k 之间存在几何对偶性(如图 1 所示), 因此, 可用后者估计前者^[4]

$$\hat{R} = \frac{1}{L^2} C^T C, \quad \hat{r} = \frac{1}{L^2} C^T y \quad (3)$$

其中, $y = [y_1 \cdots y_k \cdots y_{L^2}]^T$ 包含了大小为 $L \times L$ 的局部窗口中所有的降采样像素, C 是 $L^2 \times 4$ 的矩阵, 它的第 k 行是 y_k 沿着对角线方向的 4 个邻近降采样像素(如图 2 所示):

$$c_k = [y_{k0} \quad y_{k1} \quad y_{k2} \quad y_{k3}]$$

其中, c_k 代表 C 的第 k 行。

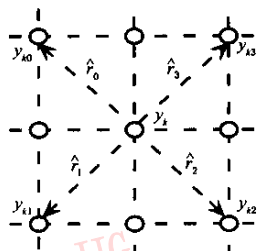


图 2 y_k 沿着对角线方向的 4 个邻近降采样像素

根据式(2)和式(3), 可得^[4]

$$a = (C^T C)^{-1} (C^T y) \quad (4)$$

将式(4)代入式(1), 即可得 $\hat{Y}_{2i+1,2j+1}$ 。

为了估计剩余像素 $Y_{i,j}$ ($i+j$ 是奇数), 将其分为两类: 位于奇数行偶数列的 A 类和位于偶数行奇数列的 B 类(如图 3、图 4 所示)。这里, 以 A 类像素为例进行说明:

$$\hat{Y}_{2i+1,2j} = \alpha_0 Y_{2i,2j} + \alpha_1 Y_{2i,2j-2} + \alpha_2 Y_{2i+2,2j-2} + \alpha_3 Y_{2i,2j+2} + \alpha_4 Y_{2i+2,2j+2} + \alpha_5 Y_{2i+2,2j} \quad (5)$$

a 的计算与前面相似, 不同在于 C 是 $L^2 \times 6$ 的矩阵, 它的第 k 行是 y_k 的 6 个邻近降采样像素。

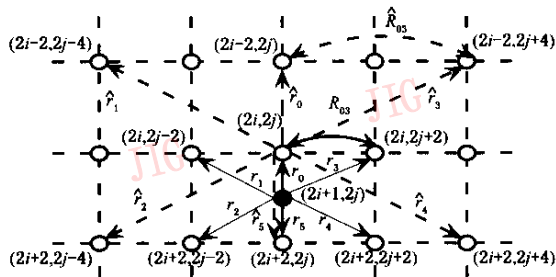


图 3 A 类像素点的插值示意图

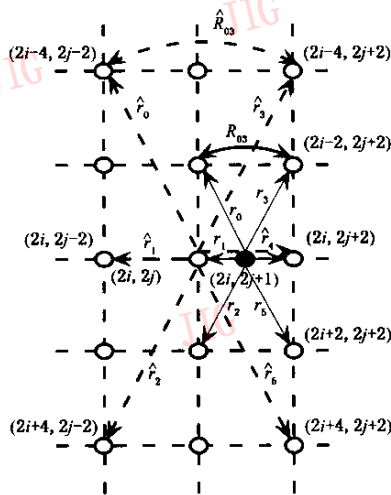


图 4 B 类像素点的插值示意图

3 改进算法与原算法的比较

原算法用 $Y_{i,j}$ ($i+j$ 为偶数) 估计 $Y_{i,j}$ ($i+j$ 为奇数)^[3], 它只利用了与 $Y_{i,j}$ ($i+j$ 为奇数) 相邻的 4 个已有像素值, 其中包含刚刚生成的 $\hat{Y}_{2i+1,2j+1}$ 。这样做边缘部分的噪声可能比较明显, 从而影响边缘的尖锐性。假设 $X(m,n) = \begin{cases} 1, 1 < n < N_1 \\ 0, N_1 \leq n \leq N \end{cases}$, $(1 \leq m, n \leq 10)$, 取 $L=3, a=2$ 。令原算法和改进算法所生成的

图像分别为 $Y_1(i, j)$ 和 $Y_2(i, j)$, $1 \leq i, j \leq 20$, 其边缘处的局部图像分别为 A_1 和 A_2

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.875 & 0 & 0.125 & 0 \\ 1 & 0.875 & 0.5 & 0.125 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0.875 & 0 & 0.125 & 0 \\ 1 & 0.875 & 0.5 & 0.125 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0.875 & 0 & 0.125 & 0 \\ 1 & 0.875 & 0.5 & 0.125 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0.66667 & 0.5 & 0.33333 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0.66667 & 0.5 & 0.33333 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0.66667 & 0.5 & 0.33333 & 0 \end{bmatrix}$$

可以看出, $Y_2(i, j)$ 的边缘噪声更小, 边缘更尖锐。

在局部窗口大小相同, 且在各自算法实现过程中窗口大小固定的前提下, 改进算法的运算复杂度约为原算法的 60%~70%。以窗口宽度 $L=5$ 为例, 原算法用 $Y_{i,j}(i+j$ 为偶数) 估计 $Y_{i,j}(i+j$ 为奇数), 此时, y 的大小为 41×1 , C 的大小为 41×4 。而改进算法仍然只用降采样像素 $Y_{2i,2j}$ 估计 $Y_{i,j}(i+j$ 为奇数)。 y 的大小仅为 25×1 , C 的大小为 25×6 。

4 实验结果

用改进的算法实现灰度图像和彩色图像的增强, 并将其与传统线性插值(双线性和双三次插值, 用 MATLAB 实现)相比。

当 $a=2^k, k=2, 3, \dots$ 时, 重复 $a=2$ 的改进算法 k 次即可。当 a 不等于 2 的整数次幂, 比如 $a=3$ 时, 可以遵循上面的步骤推导出高分辨率协方差 R_{kl}, r_k 和低分辨率协方差 \hat{R}_{kl}, \hat{r}_k 之间存在的几何对偶性, 然后实现算法。但这样做太复杂, 更简单有效的替代方法是: 将改进算法和双线性插值相结合, 实现图像的放大^[3]。

原始低分辨率灰度图像的大小为 100×100 。分别做以下两组实验(如图 5 所示)。

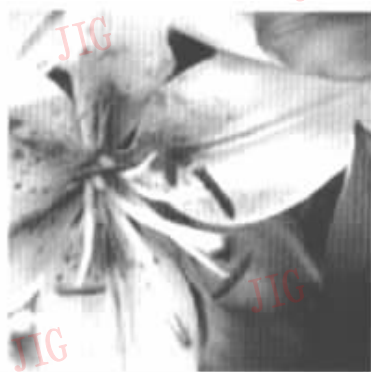
(1) 先用改进算法将原图放大 2 倍 ($a=2$), 然后继续用双线性插值将其放大 1.5 倍 ($a=1.5$);

(2) 先用改进算法将原图放大 4 倍 ($a=4$), 然后继续用双线性插值将其缩小为原图的 3 倍 ($a=0.75$)。

图 5(b) 和图 5(c) 的质量均明显优于图 5(a), 但就算法复杂度而言, 实验 1 更简单。



(a) 双线性插值
($a=3$)



(b) 改进的算法($a=2$) + 双线性插值
($a=1.5$)



(c) 改进的算法($a=4$) + 双线性插值
($a=0.75$)

图 5 灰度图像的增强

彩色图像增强的一种直接方法是将改进算法分别作用于图像 (R, G, B) 的分量^[3]。原始低分辨率彩色图像的大小为 128×128 , 分别用双三次插值和改进算法将其放大 2 倍, 即 $a=2$, 生成大小为 256×256 的高分辨率图像, 结果如图版 I 图 1 所示。

5 结论

改进的边缘方向插值算法, 充分利用了低分辨

率图像的局部相关信息实现自适应非线性插值, 在降低计算复杂度的同时, 插值生成的图像边缘更尖锐, 视觉质量明显优于传统的线性插值。

参考文献

- 1 Sadik D. Bayrakeri, Russell M. Mersereau, A new method for directional image interpolation [A]. In: IEEE Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing [C], Detroit Michigan, USA, 1995, 4 (9-12);

2383~2386.

- 2 Jensen K, Anastassiou D. Subpixel edge localization and the interpolation of still images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(3): 285~295.
- 3 Li Xin, Orchard M T. New edge-directed interpolation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1521~1527.
- 4 Jayant N, Noll, P Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video [M], Englewood Cliffs Prentice-Hall, New Jersey, USA, 1984.



陈小蕾 1977 年生, 1998 年毕业于南京航空航天大学电子工程专业, 获工学硕士学位, 现为东南大学无线电工程系信号与信息处理专业博士生。主要研究方向为现代信号处理和图像增强。



张俊 1979 年生, 2000 年毕业于淮海大学通信工程专业, 获工学学士学位, 现为东南大学无线电工程系信号与信息处理专业硕士研究生。主要研究方向为图像处理。



吴乐南 1952 年生, 教授, 博士生导师。长期从事数据压缩与多媒体技术的教学和科研工作。参与和主持各类研究课题和产品开发 30 余项。

第三届图像图形国际会议 ICIG' 2004 征文通知

<http://www.cad.zju.edu.cn/icig2004>

<http://www.comp.polyu.edu.hk/icig2004>

第三届图像图形国际会议由中国图像图形学学会主办, 香港理工大学与浙江大学承办, 中国自然科学基金委员会协办, 定于 2004 年 10 月 23~25 日在香港召开。ICIG' 2004 会议为研究图像图形的学者提供一个交流图像、图形领域最新研究进展、最新技术、最新经验和对未来研究方向进行探讨的论坛。本次会议还将邀请世界知名的专家做报告。

论文提交 论文主题应反映图像和图形及相关领域新的理论、技术、产品及应用, 论文应该没有被其他会议或期刊录用过。要求提交论文的电子版。论文可以是 Word 2000 文档或 PostScript 文件或 PDF 文件(包括封面页)。所有论文将由两位以上专家进行评审, 优秀的论文将被推荐到一些国际期刊上发表。论文电子版发送到 icig2004@cad.zju.edu.cn。

重要日期 截稿日期: 2004 年 6 月 20 日; 录用通知日期: 2004 年 7 月 20 日; 定稿日期: 2004 年 8 月 15 日



(a) 双三次插值



(b) 改进的算法

图1 彩色图像的增强($a=2$)

王 密等：一种数字航空影像的匀光方法



(a) 原始数字彩色航空



(b) 近似背景影像(滤波器尺寸为80)



(c) 影像(a)减影像(b)后的影像



(d) 对影像(c)拉伸后的影像($v=10$)

图1 匀光实验