

# 基于局部梯度的 WaDi 图像插值

申利平, 李开宇

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:**线性插值算法容易产生细节模糊和边缘锯齿效应, 为了较好地保持图像的边缘信息, 改善图像的主观视觉效果, 提出了一种改进的 Warped Distance (WaDi) 图像插值方法。传统的 WaDi 算法是对空间线性插值的改进, 但它仅仅利用了图像边缘的局部不对称特征来计算 WaDi。除了局部不对称特征, 局部梯度特征也是图像边缘的一种重要特征。文中采用将局部不对称特征和局部梯度特征相结合的方法来计算 WaDi, 可同时保持图像边缘的细节特征和非边缘的光滑性。实验结果表明, 用该方法能获得高精度的插值图像。

**关键词:** Warped Distance; 局部梯度; 图像插值

**中图分类号:** TP911.73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2008)06-0076-03

## WaDi Image Interpolation Based on Local Gradient

SHEN Li-ping, LI Kai-yu

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** The smooth effect and zigzagging artifacts are inevitable during linear interpolation. In this paper, propose an improved warped distance (WaDi) image interpolation to preserve edge information and improve visual quality. The conventional WaDi algorithm is improvement of the spatial linear interpolation. However, it uses only the local asymmetry features of image edges to compute the WaDi. The local gradient features are also one kind of the important features of image edges. In this paper, adopt both the local asymmetry features and the local gradient features in the WaDi computation. The algorithm can effectively preserve edges while maintaining the smoothness of nonedges. Experimental results show that the proposed method can obtain high accuracy interpolated images.

**Key words:** warped distance; local gradient; image interpolation

## 0 引言

图像插值是数字图像处理的一项重要技术, 已经广泛应用于图像的分辨率增强, 图像的旋转、缩放等。传统的插值算法有最近邻插值、双线性插值和双立方插值。最近邻插值算法简单, 运算速度快, 但插值质量差, 容易出现锯齿、方块效应; 双线性插值虽然减轻了锯齿和方块效应, 但它的平滑作用会使图像细节产生退化, 图像变得模糊; 双立方插值较好地改进了这一点, 但运算量巨大。为了进一步改善图像的视觉效果, 出现了一系列插值算法, 如基于边缘方向的插值<sup>[1]</sup>, 小波插值<sup>[2]</sup>, 分形插值<sup>[3]</sup>等。这些插值算法计算量大, 尤其当要求计算简单时, 它们更不能替代传统的双线性插值和双立方插值。为了提高线性插值的性能, Giovanni Ramponi<sup>[4]</sup>提出了传统的 WaDi 方法。WaDi 方

法能够降低插值误差且计算简单, 在很多应用中可以被用来代替传统的线性插值算法。但 WaDi 算法仅仅考虑了图像边缘局部不对称特征。局部梯度特征也是图像边缘的一种重要特征, 因此文中采用局部不对称特征和局部梯度特征相结合的方法来计算 WaDi。实验表明, 文中提出的改进 WaDi 方法较之传统的 WaDi 算法显示了更多的图像边缘细节, 具有更好的视觉效果。

## 1 基于局部梯度的图像插值

插值过程实际上是利用图像已知点像素值预测重构未知点上像素值的过程。因此难免会导致插值后图像高频部分出现模糊及锯齿效应, 从而影响图像视觉效果。边缘是图像中的重要信息, 表现为灰度的不连续, 就是属于高频信号。由于低通滤波效应, 在图像的获得过程中, 阶梯状边缘变得比较平滑。因此可以用如图 1 所示信号作为图像的边缘模型。在位置  $i'$  处, 线性插值算法用下式估计被插值点像素值  $f_{i'}$ :

$$f_{i'} = (1-s)f_i + sf_{i+1} \quad (1)$$

收稿日期: 2007-09-20

作者简介: 申利平 (1981-), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 研究方向为数字信号处理和数字图像处理; 李开宇, 博士, 副教授, 研究方向为数字信号处理、数字图像处理和数据采集。

其中:  $s = i' - i$ 。

由公式(1)可以看出,在线性插值中,输入图像像素的权值仅仅是距离  $s$  的函数,没有考虑其它任何因素。而在图像中,点与点之间,区域与区域之间,都有一定的关系,对二维插值而言只考虑相邻的  $2 \times 2$  邻域,不是很准确的,输入图像像素的权值还应该与图像的局部特征如梯度特征有关。

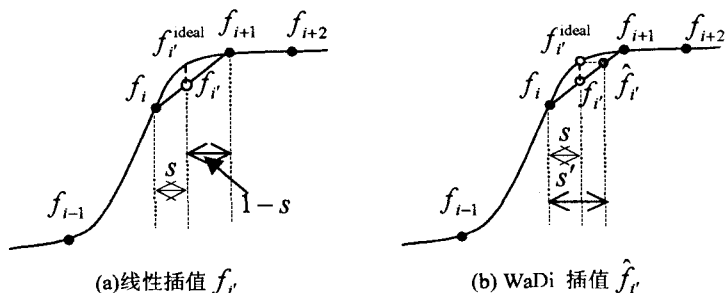


图1 理想插值  $f_i^{\text{ideal}}$

以一维为例(图1(a)),  $f_i'$  为线性插值,  $f_i^{\text{ideal}}$  为真实值,从(a)中可以看到,线性插值在  $i'$  的像素值  $f_i'$  并没有正确表示真实值  $f_i^{\text{ideal}}$ ,这就使得插值图像变得模糊。

### 1.1 传统 WaDi 插值

线性插值算法<sup>[4,5]</sup>只考虑了空间距离,为了得到理想的插值像素值  $f_i^{\text{ideal}}$ ,WaDi 插值算法考虑了图像的几何相似性,对公式(1)中的空间距离  $s$  作非线性修正,将空间距离  $s$  修正为  $s'$ ,使之偏向图像中具有更大相似性的一边,插值公式变为:

$$\hat{f}_i = (1 - s')f_i + s'f_{i+1} \approx f_i^{\text{ideal}} \quad (2)$$

$s$  和  $s'$  关系为:

$$s' = -kAs(1 - s) \quad (3)$$

其中  $A$  为插值点邻域的几何相似性参数。

$$A = \frac{|f_{i+1} - f_{i-1}| - |f_{i+2} - f_i|}{L - 1} \quad (4)$$

$L$  为灰度级最大值,8 位图像取 256,以保证  $A \in [-1, 1]$ 。 $A = 0$  表示两边对称; $A > 0$  表示插入点  $i'$  位置与右边像素相似性更大,右边像素应有更大加权系数,  $s' > s$ ; 反之,  $s' < s$ 。 $k$  为修正因子,通常取  $k = 1$  或  $k = 2$ 。

图1(b)中把 WaDi 插值和线性插值作了对比,其中,  $\hat{f}_i$  为 Giovanni Ramponi 提出的 WaDi 插值,可以看出, WaDi 插值  $\hat{f}_i$  较线性插值  $f_i'$  有了很大的改善,它更接近真实值。

二维的 WaDi 可以由一维计算得到,如图2所示。

从图3可以得到如下的几何关系:

$$\begin{cases} \frac{t'}{1} = \frac{s' - s_{x1}}{s_{x2} - s_{x1}} \\ \frac{s'}{1} = \frac{t' - s_{y1}}{s_{y2} - s_{y1}} \end{cases} \quad (5)$$

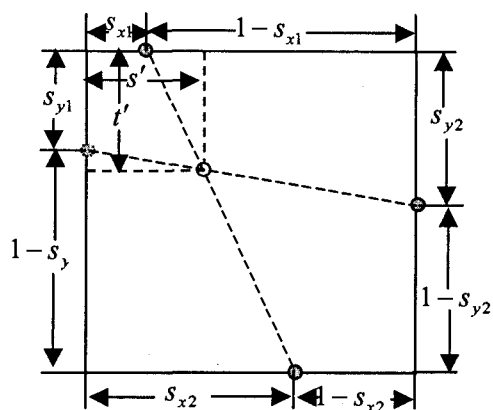


图2 2-D WaDi 和 1-D WaDi 关系示意图

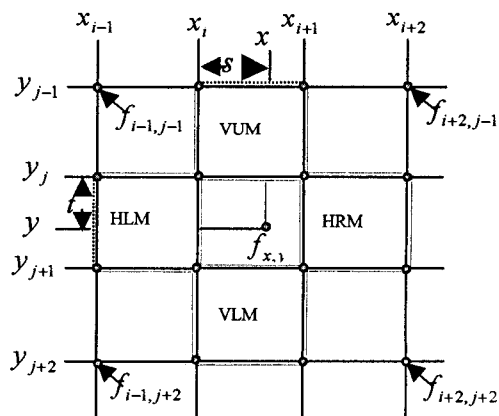


图3 梯度权系数模板

求解可得:

$$\begin{aligned} s' &= \frac{s_{x1} + (s_{x2} - s_{x1})s_{y1}}{1 - (s_{y2} - s_{y1})(s_{x2} - s_{x1})} \\ t' &= \frac{s_{y1} + (s_{y2} - s_{y1})s_{x1}}{1 - (s_{y2} - s_{y1})(s_{x2} - s_{x1})} \end{aligned} \quad (6)$$

### 1.2 局部梯度特征

在数字图像中,局部梯度特征也是图像的一种重要的特征,利用待插值点  $f_{x,y}$  周围的局部梯度特征, Hwang<sup>[6]</sup> 利用 4 个模板(见图3),定义了 4 个局部梯度权系数  $H_l, H_r, V_u$  和  $V_l$ 。比如  $H_l$  由“HLM”的 4 个邻近像素  $f_{i-1,j}, f_{i,j}, f_{i-1,j+1}, f_{i,j+1}$  产生。梯度权系数定义如下:

$$H_l =$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \alpha(\text{abs}(f_{i,j} - f_{i-1,j}) + \text{abs}(f_{i,j+1} - f_{i-1,j+1}))}}$$

$$H_r =$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \alpha(\text{abs}(f_{i+1,j} - f_{i+2,j}) + \text{abs}(f_{i+1,j+1} - f_{i+2,j+1}))}}$$

$$V_u =$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \alpha(\text{abs}(f_{i,j} - f_{i,j-1}) + \text{abs}(f_{i+1,j} - f_{i+1,j-1}))}}$$

$$V_l =$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \alpha(\text{abs}(f_{i,j+1} - f_{i,j+2}) + \text{abs}(f_{i+1,j+1} - f_{i+1,j+2}))}}$$
$$\alpha$$
 为锐度参数,它控制图像的锐度,取值范围在 $[0,1]$ 之间。

利用梯度权系数,双线性插值定义如下:

$$f_{x,y} = \frac{H_l(1-s)}{H_l(1-s) + H_rs} \cdot \frac{V_u(1-t)}{V_u(1-t) + V_lt} \cdot f_{i,j} + \frac{H_rs}{H_l(1-s) + H_rs} \cdot \frac{V_u(1-t)}{V_u(1-t) + V_lt} f_{i+1,j} + \frac{H_l(1-s)}{H_l(1-s) + H_rs} \cdot \frac{V_lt}{V_u(1-t) + V_lt} f_{i,j+1} + \frac{H_rs}{H_l(1-s) + H_rs} \cdot \frac{V_lt}{V_u(1-t) + V_lt} f_{i+1,j+1} \quad (7)$$

### 1.3 文中改进的 WaDi 插值算法

传统的 WaDi 插值算法仅仅利用了图像边缘的局部不对称特征来计算 WaDi,然而除了局部不对称特征,局部梯度特征也是图像边缘的一种重要特征。为了更多地考虑插值像素点周围的局部信息,文中利用局部不对称特征与梯度特征相结合,提出了改进的 WaDi 插值算法,改进的算法用公式(6) 所得的  $s',t'$  来代替公式(7) 中的  $s,t$ ,再令:

$$w_0^h = (H_l(1-s')/D_{bil}^h), w_1^h = (H_rs'/D_{bil}^h),$$
$$w_0^v = (V_u(1-t')/D_{bil}^v), w_1^v = (V_lt'/D_{bil}^v),$$
$$D_{bil}^h = H_l(1-s') + H_rs', D_{bil}^v = V_u(1-t') + V_lt'$$

于是得到:

$$f_{x,y} = w_0^v(w_0^h f_{i,j} + w_1^h f_{i+1,j}) + w_1^v(w_0^h f_{i,j+1} + w_1^h f_{i+1,j+1}) \quad (8)$$

从(8) 式可以看出,插值点实际上变为了双线性插值中的点 $(i + w_0^v, j + w_1^h)$ 。

## 2 实验结果分析

对图像进行质量评价一般分为主观评价和客观评价两种。主观评价就是通过人眼观察对图像质量好坏做出评价,是一种定性的方法。在客观评价相同时,主观评价起到很好的作用。人们通过研究发现,在各种客观质量评价形式中,峰值信噪比是一种比较接近人眼视觉效果的客观评价。为此,采用峰值信噪比作为客观评价标准,峰值信噪比由下式给出:

$$\text{PSNR} = 10 \log \frac{255^2}{\text{MSE}} \quad (9)$$

其中,均方误差:

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

$f(i,j)$  为原始图像, $f'(i,j)$  为插值后大小为  $2N \times 2M$  的图像。在实际应用中,通常把客观评价和主观评价结合起来。在客观评价相同的情况下,主观评价好者插值质量好。

为了比较文中插值算法的有效性,选用了 3 幅分辨率为  $512 \times 512$  的 Lena、barb 和 peppers 图像作为原始实验图像,对原始图像进行隔行隔列抽取得到低分辨率图像,然后分别用最近邻插值法、双线性插值法、传统的 WaDi 插值法以及文中的改进的 WaDi 法对低分辨率图像进行插值实验,得到原始图像大小的插值图像。各种插值算法的峰值信噪比(PSNR)如表 1 所示。

表 1 各种插值算法的 PSNR 评价

插值方法 图像	最近邻 插值	双线性 插值	传统的 WaDi 插值	文中插 值法
Lena	28.2959	29.6172	31.5444	31.9927
barb	22.4085	23.7316	24.8088	24.9312
peppers	26.9125	27.7292	31.0424	31.4256

从表 1 可以看出文中插值算法较之其它几种算法峰值信噪比都有所提高,图 4 是几种插值算法的视觉效果比较,原图(a)是  $256 \times 256$  的 Lena 图像,低分辨

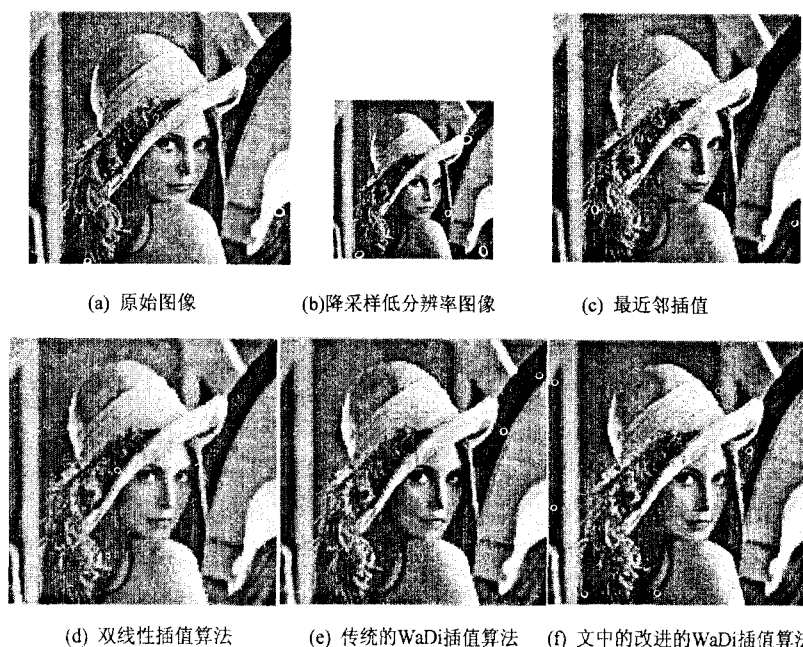


图 4 几种插值算法效果比较

由表 3 可以看出,在迭代 1000 次后,LDW 和 I-WMPSO 算法搜索到的最优解都远远优于 SPSO 算法,在收敛精度上 IWMP SO 算法更是优于 LDW 算法。对于 Griewank、Schaffer 等多峰函数,在全局极值周围,存在无限多个局部最优,因此极易陷入局部最优,当 SPSO 和 LDW 算法陷入局部最优解无法跳出时,IWMP SO 算法的变异机制使其能够迅速摆脱局部最优解的束缚,收敛到全局最优解。在计算时间上 IWMP SO 算法比 SPSO 和 LDW 算法只略慢一点,这是由于 I-WMPSO 算法结构简单,在变异机制中只判断最佳适应度是否连续代不变,在迭代运算中只涉及到初等运算,因此对运算量增加很少,计算效率高。由表 2 可以看出,SPSO 算法的性能最差,除了 Schaffer 函数,几乎不能在给定迭代次数下收敛到指定精度,LDW 和 I-WMPSO 都能 100% 收敛到指定精度;在收敛速度上 I-WMPSO 相较 LDW 和 SPSO 算法有了大幅提高,这源于 IWMP SO 算法中对不同微粒赋予不同的惯性权重  $\omega$ ,使得微粒在位置上具有良好的多样性,能避免群体陷入局部最优,特别是到了进化中后期,群体中拥有较小  $\omega$  值的微粒数量逐渐增多,有效提高了算法的收敛速度。

### 3 结束语

针对微粒群优化算法的早熟收敛和进化后期收敛速度慢等问题,提出了一种改进惯性权重的变异微粒群优化算法(IWMP SO)。对 4 种典型函数的测试结果

表明,该算法的全局搜索能力和收敛速度都得到了提高,并且能够有效避免早熟收敛问题。

#### 参考文献:

- [1] Shi Y, Eberhart R C. Particle swarm optimization: development applications and resource[C]//In: Proc congress on evolutionary computation 2001. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2001:81-86.
- [2] Shi Y, Eberhart R C. Fuzzy adaptive particle swarm optimization[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation. Soul:IEEE, 2001:101-106.
- [3] Ratnaweera A, Halgamuge S K. Self-organizing hierarchical particle swarm optimizer with time-varying acceleration coefficients[J]. IEEE transactions on evolutionary computation, 2004,8(3):240-255.
- [4] van den Bergh F, Engelbrecht A P. Training product unit networks using cooperative particle swarm optimization[C]//Proc of the third Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO). San Francisco, USA:[s. n.],2001:126-131.
- [5] Riget J, Vesterstroem J S. A diversity guided particle swarm optimizer - the ARPSO[R]. Aarhus: University of Aarhus, EVALife, 2002.
- [6] van den Bergh F. An analysis of particle swarm optimizers [D]. Pretoria, South Africa: Department of Computer Science, University of Pretoria, 2002:81-83.
- [7] Shi Y H, Eberhart R C. Empirical study of particle swarm optimization[C]//In:Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1999:1945-1950.

(上接第 78 页)

率图像(b)由原图像隔行隔列抽取得到,可以看出,最近邻插值边缘锯齿效应最明显,双线性插值放大图像虽然减轻了锯齿效应,但整体比较模糊,缺少细节,传统的 WaDi 插值算法较好地改善了双线性插值的模糊现象,而文中算法则得到了更清晰的边缘细节,头发和帽子边沿处都比较清晰。由此可见,无论从客观评价标准上还是主观视觉效果上文中算法都优于传统插值算法和传统的 WaDi 插值算法。

### 3 结 语

文中利用局部不对称特征和局部梯度特征相结合来计算 Warped Distance,这样较之传统 WaDi 插值算法,更多考虑了插值像素点周围的局部信息,得到了更为准确的插值像素值。

实验结果表明,文中算法能够提高插值精度,而且也容易实现。

#### 参考文献:

- [1] XIN Li, Orchard M T. New edge-directed interpolation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10):1521-1527.
- [2] 卢 钰. 基于小波的图像插值研究[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 25(1):81-83.
- [3] Honda H, Haseyama M, Kitajima H. Fractal interpolation for natural images[C]//1999 International Conference on Image Processing. [s. l.]:[s. n.], 1999:657-661.
- [4] Ramponi G. Warped distance for space-variant linear image interpolation[J]. IEEE Trans Image Processing, 1999, 8(9): 1293-1297.
- [5] Hadhoud M M, Dessouky M I, El-Samir F E A. Adaptive image interpolation based on local activity levels[C]//Twentieth National Radio Science Conference. Cairo:NRSC, 2003.
- [6] Hwang Jung Woo, Lee Hwang Soo. Adaptive image interpolation based on local gradient features[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2004, 11(3):359-362.