

基于薄板样条的快速插值人脸变形算法

彭延军, 乔羽, 王元红

(山东科技大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 2665900)

摘要:薄板样条插值应用于人脸变形时,特征点的位置、数量是决定变形效果的重要因素。针对薄板样条插值应用于高分辨率图像变形时间长的问题,提出快速插值人脸变形算法,通过重新定义薄板样条算法中线性系统的关键方程 K ,调整各对应点之间距离系数的增长速度,约束相邻点变形差异,缩短高分辨率图像的变形时间;利用线性平滑方法和周围点插值方法解决插值点堆积和遗漏问题。

关键词:薄板样条;人脸变形;平滑处理;变形速度;插值方法

DOI:10.11907/rjdk.1511267

中图分类号:TP312

文献标识码:A

文章编号:1672-7800(2016)002-0052-03

0 引言

人脸变形技术实质上是对原图像做数学变换以平滑地变换到目标图像,有图像变换和颜色插值两个步骤,图像变换是将二维几何变换应用到图像的同时保持它们之间的特征,颜色插值用于填充图像变换后的遗漏点^[1,2]。

薄板样条插值(TPS)具有数值稳定性好和收敛性好的特性,且能近似曲线拟合复杂的形状,变形精确度和变形效果由特征点选择和特征点的数量决定^[3]。当增加特征点的数量和选取准确度,特别是在处理高分辨率图像时,算法速度会明显降低^[4]。薄板样条插值正则化会造成变形后图像插值点堆积和遗漏问题,这些也是影响变形后图像质量和平滑程度的关键。

自从 Duchon 介绍薄板样条算法后,引发了国内外对薄板样条算法理论和应用的大量研究。如 Gianluca Donato 和 Serge Belongie^[5]针对处理高分辨率图像时薄板样条插值计算速度慢的问题提出了薄板样条近似算法,利用机器学习,使用径向基函数作函数逼近,改进了薄板样条插值的变形速度,但存在噪声大、平滑度差的缺点;Bejancu^[6]对薄板样条插值应用于曲线、超曲面作了大量研究,通过引入 Beppo-Levi 型的边界条件,构建了一个半基本模型,改进了样条函数插值在无限多个平行的超曲面上的数据平滑度;Nur Arad^[7]等对人脸变形中面部肌肉及纹理

变形作了深入研究,发现使用径向基函数处理面部表情时失真度低,他所提出的基于径向积的薄板样条插值人脸变形算法,只需要少量“锚”点即可变形且面部肌肉、纹理、表情失真度低,但仅适用于面部表情处理。

本文提出的基于薄板样条快速插值的方法,通过对薄板样条插值算法中线性系统函数 K 进行改进,提高函数增长度,约束局部变形范围;提出快速图像映射公式,提升高分辨率图像变形速度;利用线性平滑方法和周围点插值方法解决插值点的堆积和遗漏问题。

1 薄板样条快速插值算法

1.1 薄板样条插值定义

薄板样条插值经常被用来处理类似 $R^2 \rightarrow R_0^2$ 的坐标系变换^[8]。

使点 (x'_i, y'_i) 代表点 (x_i, y_i) 的目标函数值 $(i = 1, 2, \dots, p)$,点 (x_i, y_i) 全部相异且不共线。

$$\begin{cases} (x_i, y_i) \rightarrow (x'_i, y'_i) \\ (x_i, y_i) \neq (x_j, y_j) (i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, p) \end{cases} \quad (1)$$

薄板样条插值函数可以保证变形获得一个最小的弯曲能量值:

$$I_f = \iint \left(\left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 \right) dx dy \quad (2)$$

图像映射公式:

基金项目:山东省自然科学基金项目(2015ZRB01194);泰山学者攀登计划项目(2015TSSCP01);山东科技大学领军人才计划项目(2015SDKDSCP01)

作者简介:彭延军(1971—),男,山东滕州人,山东科技大学信息科学与技术学院教授、博士生导师,研究方向为图像处理、科学计算可视化、虚拟现实;乔羽(1990—),男,山东济宁人,山东科技大学信息科学与工程学院硕士研究生,研究方向为图像处理、科学计算可视化;王元红(1971—),女,山东泰安人,山东科技大学信息科学与工程学院实验师,研究方向为图像处理、科学计算可视化。

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^p \omega_i U[\|(x_i, y_i) - (x, y)\|] \quad (3)$$

其中, $U(r) = r^2 \log r$, (x_i, y_i) 为原图特征点, (x, y) 为原图非特征点, 求式(3)中各系数线性系统:

$$\begin{bmatrix} K & P \\ P^T & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \\ o \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, $K_{ij} = U(\|(x_i, y_i) - (x_j, y_j)\|)$, P 矩阵中元素为 $(1, x_i, y_i)$, O 是零矩阵。

1.2 快速插值算法

人脸变形一般选取不少于 68 个控制点, 因此计算式(4)需要大量时间。在处理高分辨率图像时, 计算式(3)的时间显著增加^[9]。较小的正则化参数造成图像插值点遗漏问题, 需要改进薄板样条插值平滑函数以减少插值遗漏点。本文提出基于薄板样条快速插值的方法, 提升高分辨率图像变形速度和减少插值遗漏点。

1.2.1 线性系统关键函数

由式(2)可知, 薄板样条是一个约束最优化问题, 即在对应点约束条件下, 使变形能量 I 达到最小。而线性系统式(4)中函数 $K(x, y)$ 决定线性系统的优劣, 控制点对待插值点的“引力”随 r 值增长而衰减度变弱, 插值点堆积和遗漏问题严重, 变形波及范围大, 插值时保持人脸的表情特征和纹理特征困难。为减少插值堆积点和遗漏点数量, 减小变形影响范围, 建立函数:

$$K_{ij}(x_i, y_j) = (\|(x_i, y_i) - (x_j, y_j)\|)^4 \times \ln(\|(x_i, y_i) - (x_j, y_j)\|) \quad (5)$$

从图 1 对比可知, 式(4)相对于原函数增强了控制点“引力”衰减度, 约束了局部变形范围。

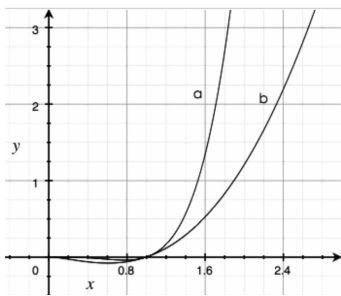


图 1 薄板样条线性系统中改进公式 K (左 a) 与原公式 K (右 b) 曲线对比

1.2.2 图像映射公式

式(3)中 p 为特征点数目, 经试验式(3)占用了变形函数 80% 的计算时间, 缩短 p 次循环所占用的时间是提高计算效率的关键。原循环函数计算量大, 插值效率低, 因此建立快速图像映射公式:

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^p ((x_i, y_i) - (x_j, y_j))^2 \quad (6)$$

如图 2 所示, 式(6)增长速度明显高于原公式, 较大的正则化即可满足形变需要, 改善了插值点的堆积和遗漏。

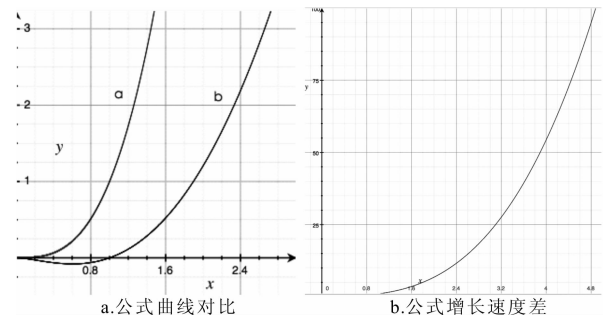


图 2 曲线及增长速度差

1.2.3 算法实现

基于薄板样条的快速插值人脸变形算法对分布在二维平面的选定数据点即控制点进行插值, 其分布和数量影响最终插值效果, 控制点所在二维平面上其余点称为待插值点^[10]。图像插值就是依据选定的一定数量控制点的值, 经过插值算法计算出平面上其余待插值点的值。对图像进行基于薄板样条的快速插值人脸变形算法描述如下:

Step1: 算法输入 Z, M, N 3 个向量, 公式 $F(x, y)$ 。其中, 向量 Z 储存控制点的 x 和 y 坐标值;

Step2: 带入经过式(5)改进后的线性系统(4)中, 解出由系数向量 M 和 N ;

Step3: 最后将向量 M, N 和非控制点坐标值代入快速图像映射公式(6)中, 分别计算出每个非控制点的映射坐标;

Step4: 根据插值效果调节正则化系数, 直到达到目标效果。

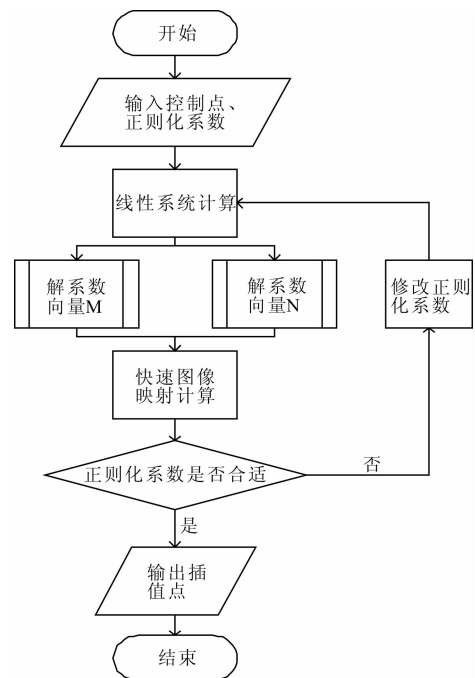


图 3 算法流程

2 实验结果分析

本文实验平台为 intel i5 4260u, 4GB 内存的计算机, 开发工具为 Xcode6.1。对图像分辨率为 $2\,505 \times 1\,650$ 的图像和 $5\,010 \times 3\,300$ 的图像分别进行薄板样条插值与薄板样条快速插值变形, 变形结果分别如图 4、图 5 和图 6、图 7 所示, 表 1 列出了算法速度比较。

表 1 图像分辨率为 2505×1650 和 5010×3300 的薄板样条插值与薄板样条快速插值对比数据 单位: s

图像分辨率	差值方法	平均时间	w 矩阵计算时间	插值时间
2505×1650	薄板样条插值	8.87	0.51	7.75
	薄板样条快速插值	6.43	0.69	5.69
5010×3300	薄板样条插值	28.1	1.5	24.8
	薄板样条快速插值	20.3	2.3	17.5



图 4 图像分辨率为 2505×1650 的薄板样条插值结果



图 5 图像分辨率为 2505×1650 的薄板样条快速插值结果



图 6 图像分辨率为 5010×3300 的薄板样条插值结果



图 7 图像分辨率为 5010×3300 的薄板样条快速插值结果

由表 1 可知, 基于薄板样条快速插值算法相对于薄板样条插值算法用时缩短了约 27.5%, 所以通过式(6)对薄板样条图像映射方法的改进有效缩短了变形时间。

由图 4、图 5、图 6、图 7 可以看出, 经过改进的薄板样条变形保证了变形效果, 局部形变效果更加明显且保持了整体平滑度。实验证明式(5)的改进, 改善了插值点的堆积和遗漏问题, 保证局部变形的同时整体形变较小, 面部表情和纹理特征保存良好。

3 结语

本文提出了一种加快薄板样条插值算法改进薄板样条算法中线性系统的关键方程 K, 强化控制点的“引力”衰减突出局部变形, 减少插值点的堆积和遗漏问题; 定义了曲线增长长度更高的图像快速映射公式, 有效提升了变形效率。实验证明本文方法有效提升高分辨率图像变形时变形速度。尽管本文对高分辨率图像插值效果好, 但对图像分辨率小(如 640×320)且特征点选取局限于形变特别大的局部区域插值效果较差, 仍需在后续研究中改进。此外, 经过薄板样条变形后的图像由于样条函数曲面拟合的性质, 插值点的堆积和遗漏现象仍然比较严重, 需进一步研究更快速、平滑的图像变形插值方法。

参考文献:

- [1] 祝铭阳, 孙怀江. 人脸动画关键点最优化算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013(1): 93-100.
- [2] LAMICHHANE B P, ROBERTS S G, STALS L. A mixed finite element discretisation of thin plate splines based on biorthogonal systems[J]. Journal of Scientific Computing, 2015(20): 25-30.
- [3] BARTOLI A, PERRIOLLAT M, CHAMBON S. Generalized thin plate spline warps[J]. International Journal of Computer Vision, 2010, 88(1): 85-110.
- [4] HUBBERT S, MULLER S. Thin plate spline interpolation on the unit interval. [J]. Numerical Algorithms, 2007, 45(1-4): 167-177.
- [5] DONATO G, BELONGIE S. Approximation methods for thin plate spline mappings and principal warps[C]. 7th European Conference on Computer Vision, 2002: 21-31.
- [6] BEJANCU A. Transfinite thin plate spline interpolation[J]. Constructive Approximation, 2011, 34(2): 237-256.
- [7] ARAD N, DYN N, REISFELD D, et al. Image warping by radial basis functions: application to facial expressions[J]. Cvgip Graphical Models & Image Processing, 1995, 56(2): 161-172.
- [8] CHEN CHUANFA, LI YANYAN, YAN CHANGQING, et al. A thin plate spline based feature preserving method for reducing elevation points derived from lidar[J]. Remote Sensing, 2015.
- [9] 黄飞, 谭守标. 基于改进主动表观模型算法的人脸特征定位[J]. 计算机工程与应用, 2015(15): 45-49.
- [10] STALS L. Efficient solution techniques for a finite element thin plate spline formulation[J]. Journal of Scientific Computing, 2015, 63(2): 374-409.
- [11] NIU Y, LIU F, LI X, et al. Image resizing via non-homogeneous warping[J]. Multimedia Tools & Applications, 2012, 56(3): 485-508.

(责任编辑: 陈福时)