

基于椭圆变形域的图像局部变形

熊凯, 盛建平, 魏凯, 张冠华

(上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘要:图像局部变形技术是图像处理领域的一个分支,它只改变图像中指定区域范围内的特征而保持其他区域不发生变化。文中在径向基函数的基础上,提出了一种基于椭圆变形域的图像局部变形的算法,并讨论了函数中关键参数的选取对变形效果的影响;通过对变形区域的影响半径 R 和影响系数 s 的设置,控制图像局部变形的区域,从而解决了图像变形过程中产生的重叠映射;最后,介绍了图像局部变形的算法流程,利用VC++6.0和OpenCV搭建实验平台对算法进行了验证,实现了交互模式下的图像局部变形。

关键词:图像变形;局部变形;椭圆变形域;重叠映射

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)05-0037-03

Local Image Warping Algorithm Based on Elliptic Warping Area

XIONG Kai, SHENG Jian-ping, WEI Kai, ZHANG Guan-hua

(School of Electromechanical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Local image warping technology is a branch of image processing. It only changes the image features in a specified area and maintain other regions. In this paper, a local elliptical area image warping algorithm based on radial basis function is proposed, and a detailed discussion is given on the key parameters of this algorithm. Then, the local warping area is controlled by the setting of influential radius R and influential coefficient s to solve the overlap mapping in the image warping process. Finally, the algorithmic process of local image warping is introduced. An experiment platform is built to validate the algorithm by VC++6.0 and OpenCV, achieved local image warping based on interactive mode.

Key words: image warping; local warping; elliptical warping area; overlap mapping

0 引言

图像变形技术就是指将一幅图像以一种自然、流畅、逼真的方式变换到另一幅图像的图像处理技术。它是近年来图像处理领域的一个新分支,主要研究数字图像的几何变换,即图像中点与点之间的空间映射关系^[1,2]。图像变形技术在许多领域有着广泛的应用,如虚拟现实技术、医学图像处理、刑侦取证、多媒体技术等^[3-6]。

图像的局部变形是指,只改变图像中指定区域范围内的特征,同时保持其他区域不发生变化,且能达到变形区域与不变区域之间实现平滑过渡的效果。

1 椭圆域变形函数

径向基函数变形能平滑准确地反映图像的特征变形,其基本思想是^[7]:在源图像的区域 S 上指定 N 个控

制点 $P_i (i=1, 2, \dots, n)$, 对应每一个 P_i , 有影响半径 R_i 和偏移向量 M_i , 对应的目标图像区域为 D , 定义:

$$Q = F(P) = P + \sum_{i=1}^n M_i B\left(\frac{\|P - P_i\|}{R_i}\right) \quad (1)$$

其中, $B(t) (t \in R)$ 为基函数, 其功能为调节偏移向量 M_i 的大小; 影响半径 $R_i > 0$, 用于控制关键点 P_i 的影响范围。变形函数由关键点 P_i 、影响半径 R_i 、偏移向量 M_i 和基函数 $B(t)$ 决定。 P_i 和 R_i 由外部交互指定; 影响半径 $R_i > 0$ 用于控制关键点 P_i 的影响范围; 基函数 $B(t)$ 用于调节偏移向量 M_i 的大小。

常用的基函数有高斯函数、Multi-Quadric函数、薄板样条函数、多项式基函数^[8,9], 通过对这些基函数的计算验证, 只有多项式基函数 $B(t) = (1 - t^m)^n$ (m, n 为正整数且 $n > 2$) 能实现变形区域与不变区域之间像素的平滑过渡。为了达到良好的变形效果, 减小计算量, 取 $m=2, n=3$ 代入变形函数得:

$$Q = F(P) = P + \sum_{i=1}^n M_i \left(1 - \left(\frac{\|P - P_i\|}{R_i}\right)^2\right)^3 \quad (2)$$

为了得到更加丰富的图形局部变形效果, 将影响

收稿日期: 2011-09-22; 修回日期: 2011-12-27

作者简介: 熊凯 (1988-), 男, 江西高安人, 硕士, 研究方向为计算机图形学与计算机视觉; 盛建平, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为工业设计、机构学、计算机图形学。

半径扩展为影响 X 轴方向的 R_x 和影响 Y 轴方向的 R_y , 变形函数扩展为:

$$Q = F(P) = P + \sum_{i=1}^n M_i B \left(\sqrt{\left(\frac{x - x_i}{R_x} \right)^2 + \left(\frac{y - y_i}{R_y} \right)^2} \right) \quad (3)$$

其中, (x_i, y_i) 为控制点 P_i 的坐标位置。令 $R_y = sR_x = sR$, R 为控制点的影响半径, s 为控制点的影响系数, 则变形函数变换为:

$$Q = F(P) = P + M_1 B \left(\sqrt{\left(\frac{x - x_1}{R} \right)^2 + \left(\frac{y - y_1}{sR} \right)^2} \right) \quad (4)$$

对于同一对控制点, 若影响半径 R 为定值, 则 s 越大, 图像局部变形的效果就越明显, 反之, 图像变形的效果就越弱。若影响系数 s 为定值, 则 R 越大, 图像局部变形的效果就越明显, 反之, 图像变形的效果就越弱。

2 局部变形中重叠问题的解决

图像局部变形的的方法可分为正向映射和逆向映射。逆向映射在实现的过程当中, 必须对源图像和目标图像的像素分别逐一扫描, 其计算量是正向映射的平方倍, 考虑到计算效率和变形效果的因素, 文中选用正向映射的方法。但正向映射会使目标图像产生图像空洞或图像重叠的问题^[10]。针对变形过程中产生的空洞问题, 可以采用双线性插值获得空洞点像素值的方法来解决^[7]。下面主要讨论图像局部变形过程中的重叠问题的解决方法。

在图像局部变形过程中, 变形区域的大小取决于影响半径 R 和影响系数 s , 变形区域越小变形效果就越明显。但当变形区域选取过小, 而控制点对 P_1, Q_1 之间的距离较大时, 可能导致变形函数不再是一对一变换, 造成变形后的图像产生重叠的现象, 如图 1 所示。所以应当限制变形区域的大小。

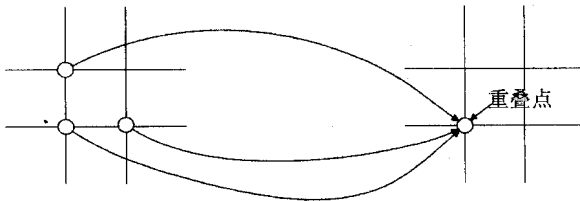


图 1 重叠现象的产生原理

对于单控制点变形, 如图 2 所示, 由式 (4) 可以得出:

$$\begin{cases} Q_1 = P_1 + M_1 B \left(\sqrt{\left(\frac{x_1 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_1 - y}{sR} \right)^2} \right) \\ Q_2 = P_2 + M_1 B \left(\sqrt{\left(\frac{x_2 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_2 - y}{sR} \right)^2} \right) \end{cases} \quad (5)$$

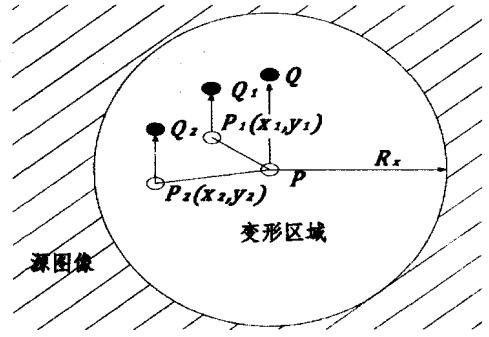


图 2 单控制点局部变形示意图

如果有重叠现象, 则 $Q_1 = Q_2$, 根据拉格朗日定理可得:

$$\begin{aligned} P_1 - P_2 = & (Q - P) B'(\xi) \left(\sqrt{\left(\frac{x_1 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_1 - y}{sR} \right)^2} - \right. \\ & \left. \sqrt{\left(\frac{x_2 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_2 - y}{sR} \right)^2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } \xi \in & \left(\sqrt{\left(\frac{x_1 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_1 - y}{sR} \right)^2}, \right. \\ & \left. \sqrt{\left(\frac{x_2 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_2 - y}{sR} \right)^2} \right). \\ \|P_1 - P_2\| = & \|Q - P\| |B'(\xi)| \\ & \left| \sqrt{\left(\frac{x_1 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_1 - y}{sR} \right)^2} - \sqrt{\left(\frac{x_2 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_2 - y}{sR} \right)^2} \right| \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{所以, 当 } R > & \|Q - P\| |B'(\xi)| \\ & \left| \sqrt{\left(\frac{x_1 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_1 - y}{sR} \right)^2} - \sqrt{\left(\frac{x_2 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_2 - y}{sR} \right)^2} \right| \\ & \sqrt{\left(\frac{x_1 - x_2}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_1 - y_2}{sR} \right)^2} \end{aligned}$$

时, 图像变形时不发生重叠现象。

(1) 当 $s = 1$ 时,

$$\left| \sqrt{\left(\frac{x_1 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_1 - y}{sR} \right)^2} - \sqrt{\left(\frac{x_2 - x}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_2 - y}{sR} \right)^2} \right|$$

< 1

当 $R_x > \|Q - P\| |B'(\xi)|$ 时, 即可保证图像变形过程中不发生重叠。

因为 $B(t) = (1 - t^2)^3$, $B'(t) = -6t(1 - t^2)^2$, $B''(t) = (1 - t^2)(30t^2 - 6)$ (8)

$B''(t) = 0$ 时, $t = \pm 1, \pm \frac{\sqrt{5}}{5}$ ($t \in [0, 1]$), 则

$$\max |B'(t)| = \left| B' \left(\frac{\sqrt{5}}{5} \right) \right| = \frac{96\sqrt{5}}{125} \approx 1.72$$

当 $s = 1$ 时, $R_x > 1.72 \|Q - P\|$ 可保证图像变形时不发生重叠, 通常取 $R_x = 2 \|Q - P\|$ 。

(2) 当 $s > 1$ 时,

$$\frac{\left| \sqrt{(x_1 - x)^2 + \left(\frac{y_1 - y}{s}\right)^2} - \sqrt{(x_2 - x)^2 + \left(\frac{y_2 - y}{s}\right)^2} \right|}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} < 1$$

同理,当 $R_x > 1.72 \|Q - P\|$ 时可保证图像变形时不发生重叠现象,取 $R_x = 2 \|Q - P\|$ 。

(3) 当 $s < 1$ 时,

$$\frac{\left| \sqrt{(x_1 - x)^2 + \left(\frac{y_1 - y}{s}\right)^2} - \sqrt{(x_2 - x)^2 + \left(\frac{y_2 - y}{s}\right)^2} \right|}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} < \frac{1}{s}$$

当 $R_x > \frac{1.72}{s} \|Q - P\|$ 时可保证图像变形时不发生重叠现象,取 $R_x = \frac{2}{s} \|Q - P\|$ 。

综上所述,为了避免图像变形时不发生重叠现象,当 $s \geq 1$ 时,取 $R_x = 2 \|Q - P\|$; 当 $s < 1$ 时,取 $R_x = \frac{2}{s} \|Q - P\|$ 。在后续的图像局部变形实验中,为了算法实现的简易和效率,设定 $R_x = 2 \|Q - P\|$, $s \in [1, 2]$ 。

3 算法流程及实验结果

在确定了图像椭圆变形域局部变形的变形函数,解决了图像变形过程中可能产生的重叠问题后^[11,12],图像局部变形的算法流程如下:

1. 读取源图像;
2. 设置控制点 P 和 Q , 确定影响半径 R 和影响系数 s ;
3. 计算 \overrightarrow{PQ} 和 Y 正半轴的夹角 θ , 图像以点 P 为中心旋转 θ 角;
4. 扫描待变形区域的每行每列;
5. 根据变形函数,将源图像 P_i 点的像素值赋值给目标图像上对应 Q_i 点;
6. 若出现空洞现象,用双线性插值算法进行修补;
7. 将源图像上未变形区域上点的像素值赋值给目标图像上相应区域的点;
8. 图像以点 P 为中心旋转 $-\theta$ 角;
9. 显示目标图像。

根据该算法流程,基于 VC++6.0 和 OpenCV 设计开发了一个图像局部变形的实验平台,对上述的局部变形算法进行了验证。选取了一张图像进行局部变形处理,图3所示为源图像在3个不同影响系数 s 下的变形效果。实验证明该算法可行,且随着影响系数 s 的增大,变形效果越明显。

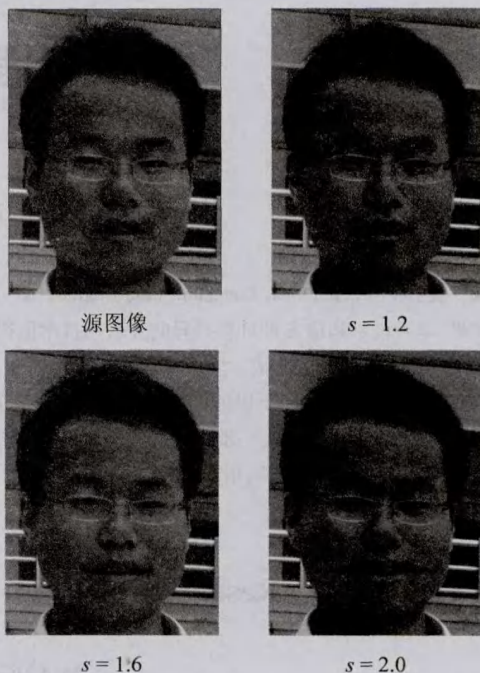


图3 不同影响系数的图像局部变形效果

4 结束语

文中提出了一种基于径向基函数的椭圆域变形算法,并讨论了变形函数中关键参数的选取对变形效果的影响,同时进一步探讨了如何解决图像局部变形中可能产生的问题。通过 VC++6.0 和 OpenCV 搭建实验室平台,验证了算法的可行性。

图像局部变形是一个涉及广泛的研究课题,还有许多相关问题亟待解决^[12],如变形区域的自由选择、针对彩色图像的局部变形等。图像局部变形的这些方面都有待于进一步的深入和研究。

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像处理与分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [2] George W. Digital Image Warping[C]. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1990.
- [3] Gooch B, Reinhard E, Gooch A. Human facial illustrations: creation and psychophysical evaluation[J]. ACM Transaction on Graphics, 2004, 23(1): 27-44.
- [4] Akleman E. Making caricature with morphing[C]//Proceedings of ACM SIGGRAPH. New York: ACM, 1997.
- [5] 熊丽华, 宋京. 变形模型技术的发展[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(8): 179-185.
- [6] 赵振勇, 王保华, 王力, 等. 人脸图像的特征提取[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(5): 221-224.
- [7] Arad N, Dyn N, Reissfeld D, et al. Image warping by radial basis functions: application to facial expressions[J]. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 1994, 56(2):

(下转第44页)

该函数返回类型是基类 `Ice::Plugin` 的指针,所以在获取 `IceComm` 对象引用时需要进行向下转换。

3.2.4 设置配置文件

在通信双方的配置文件中增加一条属性:`Ice.Plugin.IceComm=dllname;createIceComm`

`IceComm`:自定义的插件名字,`PluginManager` 将通过它来唯一标识插件。

`dllname`:所生成的 `dll` 文件的原始名称,即不包括版本号等信息。亦可指定版本号,如 `mydll,3.4` 代表 windows 中的 `mydll34.dll` 或 `mydll34d.dll` (调试状态),linux 中的 `libmydll.so.3.4`。

3.2.5 实验结果验证

新建 `dll` 工程,按照 3.2 节前三步的方法编写新的串口通信协议 `comm`,新插件命名为 `IceComm`,其中串口读写访问采用了第三方库。编译后将生成的 `IceComm34d.dll` 拷贝到系统目录下。使用 `Ice` 的官方例程 `Hello World` 按照 3.2 节第四步修改相关配置文件:

客户端:

`Hello.Proxy=hello:comm - p 10000`

`Ice.Plugin.IceComm=IceComm;createIceComm`

服务端:

`Hello.Endpoints=comm - p 10000`

`Ice.Plugin.IceComm=IceComm;createIceComm`

最后拔掉两台 PC 的网线并连接 RS-232 串口,分别运行服务与客户端的 `Hello World` 例程,结果显示例程依然正常运行,然而从头到尾并没有改变例程本身的代码,如何证明该例程确实是通过新增的串口协议在通信而不是用的原本的 TCP 或者 UDP 呢?且不论试验中已经拔掉了网线,`Ice` 在通信中采用哪种协议也需要在配置文件中指出,若将配置文件中的 `comm` 替换为其他未知字符,则程序启动时报错:读取配置文件错误。这说明了 `Ice` 是认得 `comm` 这种协议的,当然它原本是不认识的,当继承并实现了端点和端点工厂类时,可以认为 `Ice` 对该协议的内部构造已经相当了解了,但它还不知道如何创建、初始化它,而对插件基类的继承和实现在这里起了桥梁的作用,使得这种新协议(插件)获得了初始化方式;最后 `Ice` 例程在启动时通过配置文件中的第二条属性得知了创建插件实例的

入口地址,于是一切都串起来了。这也证明了 `Ice` 对扩充插件的整合做的非常到位,可以不改动主程序仅通过配置文件就能“即插即用”,亦能通过插件管理获得各种插件对象,在程序中对其做高级控制。

4 结束语

文中简要介绍了一个轻量级分布式网络通讯引擎 `Ice` 和插件技术原理,讨论了 `Ice` 插件创建及初始化过程,并揭示了其内部运作机制,最后以串口为例扩展 `Ice` 协议,从而验证了 `Ice` 传输层协议扩展的可行性及 `Ice` 应用的可伸缩性,亦为进一步解除模块耦合度奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] Henning M. A new approach to object oriented middleware [J]. IEEE Internet Computing, 2004, 8(1): 66-75.
- [2] Henning M, Spruiell M. Distributed programming with ICE [EB/OL]. 2010. www.zero.com.
- [3] 赖宇阳. 采用 Java RMI 实现自动并行计算的叶型优化设计平台[J]. 计算机工程与应用, 2003, 14(1): 205-207.
- [4] 黄小琴, 黎星星, 朱庆生. 分布式应用开发中的 Java 技术分析与比较[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(4): 589-592.
- [5] 严 商. 基于 WCF 的分布式程序的研究与实现[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
- [6] Henning M, Spruiell M. Chosing middleware: why performance and scalability do (and do not) mater [EB/OL]. 2011. http://www.zeroc.com/.
- [7] 王 博. ICE 中间件关键技术的研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006.
- [8] 陈方明, 陈 奇. 基于插件思想的可重用软件设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(1): 172-176.
- [9] 李延春. 软件插件技术的原理与实现[J]. 计算机系统应用, 2003, 7(1): 24-26.
- [10] 潘爱民. COM 原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [11] 徐宏兴. 插件体系结构软件开发方法研究[D]. 成都: 四川大学, 2005.
- [12] Ritter T, Schreiner R, Lang U. Integrating security policies via container portable interceptors[J]. IEEE Distributed Systems Online, 2006, 7(7): 1-10.
- [10] 潘建江, 郑建民, 杨勋年. 图像的局部约束变形技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(5): 387-393.
- [11] 孙家广, 杨长贵. 计算机图形学(新版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [12] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

(上接第 39 页)

161-172.

- [8] 吴宗敏. 函数的径向基表示[J]. 数学进展, 1998, 27(3): 202-208.
- [9] George W. Image morphing: a survey[J]. The Visual Computer, 1998(14): 360-372.