

一种感兴趣区域寻优搜索的全自动图像拼接算法

王 勇 何晓川 刘清华 许录平
(西安电子科技大学电子工程学院 西安 710071)

摘要: 为了降低图像拼接中对图像序列获取的苛刻要求, 增强拼接算法的适应性和灵活性, 该文提出了一种感兴趣区域寻优搜索的图像拼接算法。该算法以重叠区域的主要特征物为出发点, 获取有效感兴趣区域, 通过感兴趣区域寻优策略进行图像匹配, 进而进行图像几何校正、色差调整和图像融合, 实现了图像序列的无缝拼接。实验结果表明, 该算法不仅保持了较好的图像拼接准确性和鲁棒性, 而且降低了对图像序列获取的要求, 增强了应用的适应性和灵活性。

关键词: 图像融合; 图像拼接; 感兴趣区域; 图像配准

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)02-0261-04

An Automatic Mosaic Algorithm for Region of Interest Search

Wang Yong He Xiao-chuan Liu Qing-hua Xu Lu-ping
(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: To reduce image collection conditions in image mosaic, an adaptive Region of Interest (ROI) search algorithm is developed for enhancing adaptability and flexibility in process of image mosaic. The method searches ROI to realize image registration for overlapped region from view of key feature objects. Then image geometry adjustment, color correctness and image fusion are followed after image registration. Experimental results indicate that the method reduces image collection condition and enhances adaptability and flexibility while keeping high accuracy and robustness in image mosaic.

Key words: Image fusion; Image mosaic; Region of Interest (ROI); Image registration

1 引言

图像拼接是将一组重叠图像的集合拼接成一幅较宽视角的无缝高分辨率图像或 360° 全景图像的技术, 它涉及到计算机视觉、计算机图形学、虚拟现实和图像处理等学科。它的拼接对象是一组相邻图像中存在部分重叠区域的有序图像序列, 其本质是待拼接图像重叠部分进行图像配准和图像融合的过程。通过图像配准可以确定图像的旋转和平移等配准参数, 图像融合可以使合成图像实现自然过渡, 最终达到无缝拼接。

图像拼接技术最早应用在航空领域, 现已广泛应用于宇宙空间探测、海底勘测、医学、气象、地质勘测、军事、视频压缩和传输, 档案的数字化保存, 视频检索, 3-D 重构, 军事侦察和公安取证, 数码相机超分辨处理等领域。主要表现为: (1) 全景图和超宽视角图像的合成。将普通图像或视频图像进行无缝拼接, 得到超宽视角甚至 360° 的全景图; (2) 碎片图像的组合。将医学和科研的显微碎片图像或者空间、海底探测得到的局部图像合成大幅的整体图像; (3) 虚拟现

实。图像拼接是虚拟现实领域里场景绘制方法中的一项基本技术, 利用图像拼接技术可以生成全方位图像, 用全景图表示实景可代替 3D 场景建模和绘制。

通常, 图像拼接方法分为两类^[1,2]: 第 1 类是以参数射影变换为理论模型的方法。该方法的特点: (1) 需要检测很多图像对应点, 而准确检测图像对应点本身是个困难的问题; (2) 配准前, 需要事先估计初始位置。第 2 类是将场景投影到柱面坐标下进行配准和拼接的方法。该方法的特点: (1) 要求相机的运动只能绕光心做水平旋转; (2) 必须知道拍摄每幅图像的焦距; (3) 该方法在相邻图像拼接图的“两极”(图像的上下两端) 变形比较严重。总之, 这些图像拼接技术要么对相机的运动有严格限制, 要么需要知道相机的内部参数。

为了降低以上限制条件, 解决图像平移、旋转、色调差异、拼接方向等因素对拼接结果造成的影响, 使拼接算法更具适应性和灵活性, 本文提出一种感兴趣区域寻优搜索的图像拼接算法, 准确、稳定、可靠地实现存在形变、旋转和曝光差异的图像无缝拼接。

2 拼接算法总体设计

图像拼接过程分为获取图像序列、搜索感兴趣区域、配准、拼接和融合等几大环节, 具体流程如图 1 所示。

首先, 获取图像序列。不同的图像获取方法得到不同的



图1 图像拼接流程

图像序列, 并产生不同的图像拼接效果。目前, 照相机获取图像序列的方法主要有3种^[3]: (1)照相机被固定在三脚架上, 通过旋转相机获取图像序列; (2)相机固定在可移动平台上, 通过平移相机获取图像数据; (3)手持相机, 拍摄者采用定点旋转或沿垂直于相机光轴的方向移动拍摄获取图像数据。此外, 还有扫描仪等其他一些设备和方法(如为了便于存储, 将大型全景图片拆分成多幅的序列图像)获取的图像序列; 其次, 搜索兴趣区域并进行兴趣区域配准, 找出重叠区域中重要特征物的同名区域; 第三, 进行几何校正和色调调整; 最后, 进行图像融合、重构和拼接, 从而得到最终的拼接目标图像。

3 搜索寻优图像配准

3.1 配准原理

图像配准是指依据一些相似性度量来决定图像间的变换参数, 使从不同传感器、不同视角、不同时间获取的同一场景的两幅或多幅图像, 变换到同一坐标系下, 在像素层上得到最佳匹配的过程^[4]。

在图像匹配过程中, 本文方法通过搜索寻优确定配准区域。设有两幅图像 I_1 和 I_2 , 其中 I_1 为源图像, I_2 为目标图像。首先, 从源图像中找到种子模板, 该模板可以根据图像的特点来定义, 一般而言, 要进行图像匹配, 两幅图像有一定的重叠, 选取源图像的最大特征物局部块, 使该块尽可能被估计到重叠区域方位, 这一点可以估计得到。通常来讲, 要拼接的图像有5%~50%的重叠区。如果按照这一想法去选择模板, 效果较好。其次, 进行兴趣区域寻优。根据第一步选择的匹配模板, 在目标图像中进行兴趣区域寻优, 找到最大相关子块, 该子块被认为是两幅图像的最优块, 实现兴趣区域的配准。

3.2 种子模板的选取

种子模板的选取对正确得到匹配块有重要的影响, 如果选取的种子模板特征不丰富, 误匹配就会出现。在源图像中选取 $m \times n$ 大小的模板, 遍历整个目标区域, 求取遍历的相关矩阵, 找到最大的相关系数, 便得到了匹配后的目标块。因此, 需要寻找重叠区域的主要特征物, 该特征物所在区域为兴趣区域。通常, 寻找兴趣区域的关键是寻找最主要的特征物, 表达特征物的主要手段是边缘信息和纹理信息。

(1)感兴趣区域(Region Of Interest, ROI)的生成 设源图像为 I_1 , 目标图像为 I_2 , 它们有重叠区域 S , 如图2所示。

假设图像重叠宽度不少于 M 个像素, 不大于图像宽度的一半。如图2所示, 设 I_1 宽度和高度分别为 W 和 H , 那么 x 方向从 $(W - M)$ 到 W 包含在重叠区。在该区域中, 寻

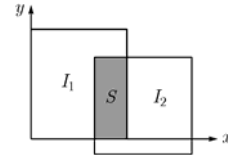


图2 拼接重叠区域示意图

找最大面积特征物。设与最大特征物中心坐标 (x_0, y_0) 距离最近的位置为 (x_1, y_1) , 面积 T , 则定义图像 I_1 中区域 $(x_1, y_1) \sim (x_1 + 2(x_0 - x_1), y_1 + 2(y_0 - y_1))$ 为兴趣区域。

(2)感兴趣区域寻优 选定了源图像 I_1 的 ROI, 接下来是进行寻优。也就是说, 在目标图像 I_2 中, 以 ROI 为匹配模板, 通过迭代过程实现待匹配兴趣区域的寻优过程。

设源图像 I_1 的兴趣区域为 A , 在目标图像 I_2 中搜索的相似兴趣区域为 B , 则其相关度为

$$\rho = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mm} - \bar{A})(B_{mm} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mm} - \bar{A})^2 \right) \left(\sum_m \sum_n (B_{mm} - \bar{B})^2 \right)}} \quad (1)$$

其中式(1)中的 \bar{A} , \bar{B} 分别为 A , B 的均值, m 和 n 分别为考察区域的横向和纵向坐标变量, A_{mm} 和 B_{mm} 分别为区域 A 和 B 中坐标 (m, n) 对应的像素灰度值。如果相关度越大, 说明目标兴趣区域 B 和源图像兴趣区域的重叠概率越大。

遍历整个目标图像将得到相关矩阵 P , 选取最大的相关元素, 作为最相似的 ROI。为此, 得到两幅待拼接图像对应的同名区域。

4 图像几何旋转校正

对于带旋转图像的拼接问题, 为了达到良好的拼接效果, 需要进行几何旋转校正。比如数码相机拍摄图片的过程中, 人手的抖动可能带来不同时刻图像的倾斜。这时, 设需要将直角坐标 oxy 下的图像经过 θ 角度旋转到坐标系 ouw , 用复数表示两坐标系通过旋转对应的位置, 令复平面 ouw 中变换点为 $q = u + iv$, 复平面 oxy 对应点为 $z = x + iy$, 这里的 i 表示复数标记。于是旋转的目的是寻找旋转变换 f , 使 oxy 平面的 z 点经过 θ 角度旋转变换到对应 ouw 平面的 q 点, 于是存在 $q = f(z) = e^{i\theta} \cdot z$, 则有旋转变换:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过该旋转变换, 使得两幅图像达到几何旋转校正的目的。

5 图像色调调整

图像色调调整是针对两幅图像色调不一致的情况。如果图像色差相差太大, 拼接时不可避免地有拼接接缝, 有必要进行色调调整。比如图像曝光不同造成色彩不协调差异等。为了达到色差调整的效果, 记录两幅图像同名 ROI 区域中心 8 邻域平均灰度差, 将其作为核心灰度差。如果灰度差较大, 需要进行全局色调调整。如果灰度差较小, 进行局部调整。

这里采用的调整方法是多分辨率样条技术^[5]和双线性插值法^[6]。通过对图像重叠区域进行色调调整,避免了影像局部色调差异大的问题,保证了相邻影像色调的一致性。

6 图像融合

图像融合是把来自不同时刻或不同成像设备对同一目标检测的多幅图像数据采用某种方法进行处理,生成一幅能够有效表示出该图像检测信息的图像。在图像拼接中,由于光照、旋转和平移等因素的影响,直接拼接出来的效果往往不是很理想,尤其是边缘信息。从视觉角度,每个像素对肉眼和心理的刺激不同,尖锐的地方反应较敏感,平滑区域反应相对迟钝,基于这一点,通过对接缝边缘采用加权方法。

设两幅图像的重叠区域分别为 A 和 B ,对缝合重叠区采用“淡入淡出”融合缝合算法。该算法的思想是以两边界为起始位置,按照线性加权方法融合得到新区域。于是,对于待拼接的两幅图像 I_1 和 I_2 ,通过拼接得到融合后的图像为

$$I(x,y) = \begin{cases} I_1(x,y), & (x,y) \in I_1 \\ A(x,y) \times (1-v) + B(x,y) \times v, & (x,y) \in (I_1 \cap I_2) \\ I_2(x,y), & (x,y) \in I_2 \end{cases} \quad (3)$$

其中 A , B 分别为左、右图像的重叠区域, $A \in I_1$, $B \in I_2$, v 为加权系数。设重叠区域宽度为 d ,则随着合成图像由左到右的过渡, v 的变化范围为 $1 \rightarrow 0$,并以 $(1/v)$ 增量增加,实现了相邻图像重叠区域的均匀过渡和自然缝合,达到了“淡入淡出”的效果。

7 感兴趣区域寻优图像拼接

通过以上各个环节,达到了兴趣区域寻优的目的。具体到实现方面,以两幅图像拼接问题说明拼接步骤。

(1)根据图像来源,获取图像序列 I_1 和 I_2 ,这主要取决于图像传感器的类型,通常两幅图像来源于同质传感器,如 CCD, CMOS 等器件;

(2)根据获取的图像序列,确定图像拼接顺序,即确定源图像和目标图像。这里设 I_1 为源图像, I_2 为目标图像。在源图像 I_1 中,根据特征物估计重叠区域,并生成感兴趣区域 A ;

(3)以感兴趣区域 A 为模板,在目标图像 I_2 中按照式(1)的策略寻优搜索匹配模板相关矩阵,并得到匹配寻优块 B ,于是得到感兴趣区域在目标图像中的初始配准位置;

(4)选取旋转角度 θ ,对目标图像 I_2 按照式(2)进行几何旋转校正,并重复步骤(3),直到找到的匹配感兴趣区域与模板 A 的相关度最大为止,此时确定目标感兴趣区域为最终配准位置,并得到相应的最终旋转角度 θ_0 ;

(5)针对最终配准位置,在两幅图中找到重叠区域,并对它们的色调按照图像色调调整方法进行多分辨率样条技术和双线性插值法的色调调整;

(6)在得到重叠区域的基础上,判断缝合区域边界,对重叠区采用“淡入淡出”融合缝合算法进行边界融合处理,并在式(3)的指导下对两幅图像的全部区域进行无缝拼接;

(7)检验拼接效果是否理想,如果不满足要求,根据特征物重新估计重叠区域,转到步骤(2),直到符合要求为止;

当然,以上是以两幅图像为例说明整个无缝拼接的步骤,如果是多幅甚至是 360° 的全景图像,以 2 幅图像为单位,逐个进行下去。若全景由 n 幅图像组成,需进行 $(n-1)$ 次拼接过程。

8 结果与分析

8.1 实验结果

为了验证本文方法的可靠性和有效性,在 Matlab7.0 仿真环境下进行了多组测试实验。鉴于篇幅有限,给出下面来自不同图像获取手段的 4 组实验结果说明问题。

第 1 组实验 图像获取为图 3(a),图 3(b)所示的待拼接标准 8bit Lena 图像,其大小皆为 95×122 ,图 3(c)为用本文方法得到的拼接图像。

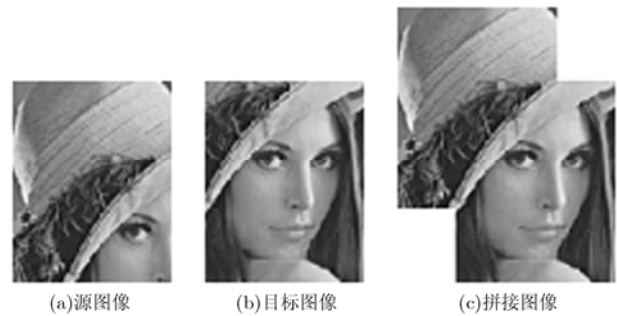


图3 第1组拼接实验

第 2 组实验 该组图像是平面碎片图片,获取方法通过屏幕截图在西安电子科技大学主页 <http://www.xidian.edu.cn> 上获取的碎片图像,其大小各异,图像为 24bit 彩色图像。其中图 4(a),4(b),4(c),4(d)的大小分别为 207×136 , 236×176 , 151×178 , 267×206 ,图 4(e)为本文方法得到的拼接图像。

第 3 组实验 该组实验图片是通过 Microtek 扫描仪得到的具有不同光照强度和微小旋转的图片,其中图 5(a)的大小 132×157 , (b)的大小为 161×159 ,图 5(c)为本文方法获得的拼接图像。

第 4 组实验 该组实验图像是从 Cannon 数码相机得到的数码照片,其中图 6(a)的大小 1024×768 , (b)的大小为 1024×768 ,图 6(c)为本文方法得到的拼接图像。

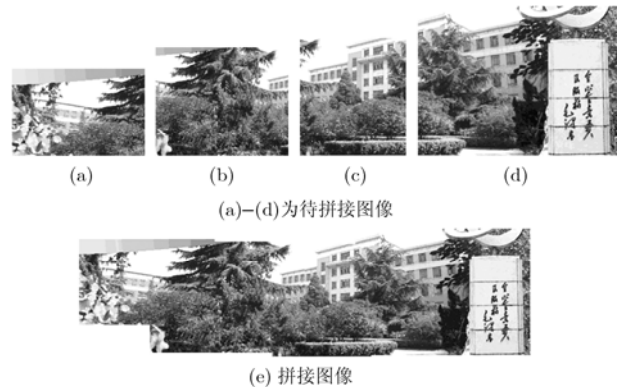


图4 第2组拼接实验

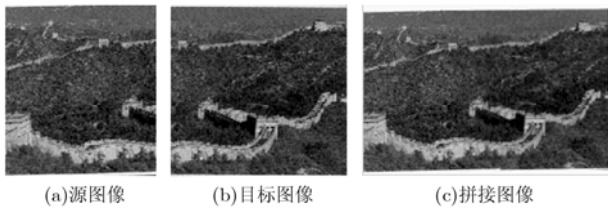


图5 第3组拼接实验

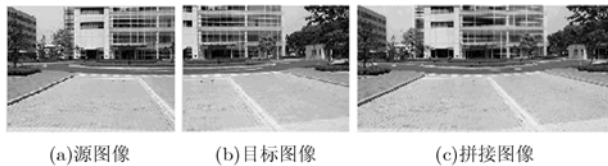


图6 第4组拼接实验

8.2 结果分析

通过图3~图6的拼接结果和表1的数据结果发现:第1组和第2组的兴趣区域最终匹配率皆为100%。这是由于图像序列的获取手段不同引起的,第1组采用标准Lena图像,第2组来自平面碎片,它们的共同特点是不存在旋转和光照变化,所以,不需要进行几何旋转校正和色调调整,必能搜索到最佳匹配率100%,此时旋转角度必然为 0° 。第3组和第4组图片分别来自扫描仪和手持数码相机,这样获取图像序列的方式必然使图像间存在色差和旋转问题,在进行旋转校正和色差调整过程中,必然引入变形和误差,所以此种状况下感兴趣区域匹配率不等于100%,但必能得到最佳的匹配率,分别为91.81%和91.83%,对应旋转角度分别为 1° 和 -0.45° 。

表1 4组实验拼接参数列表

分组	目标图像旋转角度($^\circ$)	兴趣区域匹配率(%)	运行时间(s)
第1组	0	100	1.53
第2组	0	100	2.62
第3组	1	91.81	1.67
第4组	-0.45	91.83	1.50

注:符号“—”表示图像旋转角度为顺时针方向。

总结实验结果,发现感兴趣区域搜索的图像拼接算法具有以下特点:

- (1)在 two 幅图像具有部分重叠的情况下,该方法对小的旋转角度有较好的校正作用,但当旋转角度很大时,会产生校正失真;
- (2)拼接图像可以相同,也可以不同,且不受大小尺寸限制;
- (3)算法能很好地处理曝光差异的图像,具有光滑校正功能;
- (4)算法具有连续拼接功能,计算可靠,稳定性好;
- (5)算法适应性强,不仅可以实现左右方向的拼接,而且

可以实现上下方位的拼接。

9 结束语

本文研究了图像配准、几何校正、色差调整等图像拼接的关键环节,提出了基于兴趣区域寻优搜索的图像拼接算法。通过图像拼接实验,表明了该方法降低了对拍摄者和拍摄条件的要求,具有很强的实用性、适应性和灵活性。从对边缘保持和接缝的平滑性来讲,算法简便、易程序化,具有较高的精度和较强的鲁棒性,更能得到视觉上自然过渡和无缝拼接。从某种程度上讲,为边缘匹配问题提供了一种新的解决途径。

参考文献

- [1] Szeliski R. Image alignment and stitching: A tutorial [R]. Microsoft Technical Report, Microsoft Research Microsoft Corporation On Microsoft Way Redmond, WA 98052, January 26, 2005.
 - [2] 李晓明, 赵训坡, 郑链, *et al.* 基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准方法及应用拓展[J]. 计算机学报, 2006, 29(3): 466-472. Li X M, Zhao X B, and Zheng L, *et al.* An image registration technique based on Fourier-Mellin transform and its extended applications [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2006, 29(3): 466-472.
 - [3] Chen C Y and Klette R. Image stitching-comparisons and new techniques [C]. *Lecture Notes in Computer Science*, 1999, 1689: 615-622.
 - [4] Haikel S A and Mohamed K. Image registration using virtual circles and edge direction [C]. *IEEE 16th International Conference on Pattern Recognition*. Quebec, Canada, 2002, 2: 969-972.
 - [5] 赵向阳, 杜利民. 一种全自动稳健的图像拼接融合算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(4): 417-422. Zhao X Y and Du L M. An automatic and robust image mosaic algorithm [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(4): 417-422.
 - [6] Wang Y and Han J Q. Comparison of image interpolation based on numerical computation methods [C]. *The Seventh International Conference on Electronic Measurement and Instruments*. Beijing, China, 2005, 6: 482-487.
 - [7] 谢凯, 郭恒业, 张田文. 图像 Mosaics 技术综述[J]. 电子学报, 2004, 32(7): 630-634. Xie K, Guo H Y, and Zhang T W. A survey of image mosaics technology [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2004, 32(7): 630-634.
 - [8] Su M S, Hwang W L, and Cheng K Y. Analysis on multiresolution mosaic images [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2004, 13(7): 952-959.
- 王勇: 男, 1976年生, 博士, 研究方向为图像处理与模式识别、虚拟现实、多传感信息融合和生物特征识别等。
何晓川: 男, 1980年生, 博士生, 研究方向为信号与信息处理、数据融合等。
刘清华: 男, 1981年生, 博士生, 研究方向为信号与信息处理、图像处理等。
许录平: 男, 1961年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为信号与信息处理、雷达探测及导航制导等。