

一种基于特征点匹配的图像拼接算法^①

An Image Mosaics Algorithm Based on Feature Points Matching

张 强 唐 璠 (中南大学 信息科学与工程学院 湖南 长沙 410083)

摘要: 本算法首先采用边缘检测缩小了待提取的特征点的寻找范围, 然后根据图像中各列边缘点的梯度最大值提取特征点, 进而确定两幅图像的缝合点及其匹配位置, 最后通过对图像的重叠区域进行平滑过渡处理, 实现了待拼接图像的无缝拼接。实验表明, 本算法能较好的实现图像拼接。

关键词: 图像拼接 特征点匹配 图像融合

图像拼接就是将两幅或者两幅以上具有部分重叠的图像进行无缝拼接从而得到较高分辨率或宽视角图像的过程。该技术最早应用于航空领域, 现已在数字视频、运动分析、虚拟现实技术、遥感图像处理、医学图像分析、全景图生成等众多方面得到了广泛的应用^[1]。

图像拼接的关键是精确找出相邻两张图像中重叠部分的位置, 然后确定两张图像的变换关系, 最后进行拼接和融合。由于照相设备受到环境和硬件等诸多条件的影响, 待拼接的图像往往存在平移、旋转、大小、色差及其组合的形变与扭曲等差别, 这就给图像拼接带来了一定的难度。

关于图像拼接的方法, 近年来, 研究人员进行了大量的研究工作, 常规的做法是选取第一幅图像中重叠部分的一块矩形区域作为模板, 在第二幅图像中搜索相似的对应块, 计算其相关度, 相关度最大的位置即为匹配位置, 其缺点是运算量较大。

文献[2]改进了基于模板匹配的算法来寻找匹配区域并拼接图像, 提出基于列像素的方法, 在第一张图像中选取一定间隔的两列, 用该两列像素的比值作为模板, 在第二张图像中搜索最佳的匹配, 从而确定重叠部分的位置。该方法很大程度上减少了运算量, 但是鲁棒性不强, 仍然不能解决旋转和缩放等问题^[2]。

文献[3]提出采用两幅图像特征点匹配, 计算灰度直方图以解决误匹配问题^[3], 实际效果不佳。STEIN在相邻帧间进行纹理特征跟踪, 求摄像机焦距和帧间

偏移距离的算法^[4], 精度虽高却带来了较大计算量。文献[5]把基于轮廓特征和相位相关方法结合在一起进行拼接^[5]。

本文在前人研究的基础上, 提出了一种新的基于特征点匹配的图像拼接方法, 在保证拼接质量的前提下降低了计算量, 具有一定的实际价值。本方法的主要思路是: 首先, 对待拼接图像进行边缘检测; 然后在检测到的边缘点中提取图像的特征点; 接着通过图像中对应的特征点查找缝合点, 从而确定图像的匹配位置; 最后, 对图像重叠区域进行平滑处理, 最终实现待拼图像的无缝拼接。

1 图像的边缘检测

首先对图像进行边缘检测的目的, 实际上是为特征点的提取做准备。边缘检测的好坏直接关系到特征点提取的准确与否, 对实验结果具有直接的影响。通过边缘检测得到的边缘点不仅反映了图像中的特征信息, 而且缩小了特征点提取的寻找范围, 能够使算法效率得到一定程度的改善。

在常用的各种边缘检测算子中, CANNY 算子边缘检测效果较好, 边缘轮廓清晰, 但同时整幅图像的无关信息也较多, 对进一步判定位置会造成干扰。为了保证特征点的准确提取和匹配, 本文利用小波变换边缘检测的原理对每幅图像提取边缘。相比而言, 小波变换边缘提取准确有效, 抑制噪声的能力很强, 信息损耗不大, 克服了 CANNY 算子的缺点。

① 基金项目:教育部留学归国人员科研启动基金项目(2005383)

收稿时间:2008-09-10

本文定义图像 $f(x,y)$ 的小波变换为:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} W^1 f(s,x,y) \\ W^2 f(s,x,y) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} f * \Psi_s^1(x,y) \\ f * \Psi_s^2(x,y) \end{bmatrix} \\ = s \begin{bmatrix} \frac{\partial(f * \theta_s)(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial(f * \theta_s)(x,y)}{\partial y} \end{bmatrix} &= s \cdot \text{grad}(f * \theta_s)(x,y) \end{aligned} \quad (1)$$

式中取尺度系数 $s=2^j$, 即此小波变换为二进小波变换[6]。

可以看出二进小波变换的模正比于梯度向量的模, 幅角等于梯度向量与水平方向的夹角。图像的边缘就是其梯度向量模的局部最大值点。小波变换的模可以通过下式计算得到:

$$\text{Mod} = \sqrt{|W^1 f(s,x,y)|^2 + |W^2 f(s,x,y)|^2} \quad (2)$$

2 特征点的提取

特征点的提取在获得的图像边缘中进行。经过边缘检测得到边缘后, 在每列的边缘点中找出梯度值最大的一点, 记录下该点的纵坐标; 如果此列中不存在边缘点, 则直接找出该列中梯度值最大的点。

假设待拼接的左、右两幅图像分别为 I_1 、 I_2 , 宽和高分别为 W_1 、 W_2 和 H_1 、 H_2 , 取图像的左上角作为图像坐标的原点。将检测出的边缘点按式(2)计算其梯度值, 找出每列中梯度最大值的点。同时定义两个长度分别为 W_1 、 W_2 的数组 G_1 、 G_2 , 用于存储两幅图像中每列上梯度最大点的纵坐标。该数组反映了两幅图像中按列最大梯度特征点分布的情况。在确定每列梯度的最大点时, 若该列中梯度最大值的点有两个或两个以上时, 取距离图像水平中线距离最近的点作为该列的特征点; 当两个点距离图像水平中线相等时, 取上方的点作为该列的特征点。

3 匹配位置的确定

匹配位置的确定分为粗略匹配和精确匹配两步。粗略匹配确定两张图像中的对应特征点, 精确匹配进一步确定其缝合位置。

3.1 粗略匹配

由于用于合成全景图的图像通常是都使用三脚架固定, 随着照相机的水平转动而拍摄得到, 相邻两张图像中重叠部分的对应点虽然在水平方向上平移较大, 但在垂直方向上却只存在着较小范围的波动, 也

就是说两张图像中对应特征点的纵坐标相差较小, 利用这一点可以粗略的确定匹配位置, 即确定两张图像中的对应特征点。

粗略匹配时, 在 I_1 的特征点中随机选取某点 P , 若 I_2 的特征点中存在点 Q 与其纵坐标相差在某个阈值范围内, 则可认为 P 、 Q 为对应特征点; 否则重新随机选点。阈值的选择根据图像拍摄的质量而定。

由于两张图像始终存在差异, 粗略匹配得到的对应特征点并不是精确的匹配点, 如果将图像直接作平移使得 Q 点移到 P 点, 可能出现错误的匹配, 得不到正确的拼接结果。因此需要进一步进行精确匹配。

3.2 精确匹配

精确匹配是在前述粗略匹配的基础上进行的小范围精确定位匹配点的过程。经过粗略匹配的操作, 可以得知点 Q 周围区域内存在点 P 的精确匹配, 接下来将对此区域进行搜索, 以找到最佳匹配点。

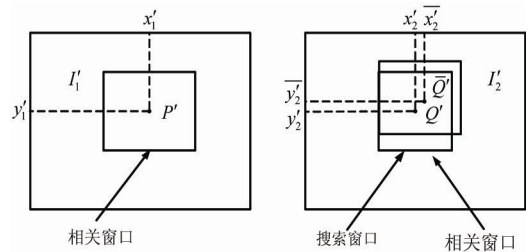


图 1 缝合点查找示意图

为了方便计算与精确定位, 首先需要对图像进行变换, 将两幅图像投影至同一平面。设 I'_1 、 I'_2 为 I_1 、 I_2 投影变换后的图像, P' 、 Q' 分别为 P 和 Q 变换后的对应点, 其坐标为 (x'_1, y'_1) 、 (x'_2, y'_2) 。对于图像中的特征点, 以该点为中心定义一个大小为 $(2n+1) \cdot (2m+1)$ 的相关窗口, 同时选取图像 I'_2 中以 Q' 为中心, 大小为 $(2s+1) \cdot (2t+1)$ 的区域作为搜索窗口。用搜索窗口中的每一点与 P' 在给定的相关窗口中进行相关操作(见图 1), 计算其相关系数 S 。设搜索窗口中某点 \bar{Q}' 的坐标为 (\bar{x}'_2, \bar{y}'_2) , 则点 P' 和 \bar{Q}' 的相关值 S 为:

$$S(P', \bar{Q}') = \frac{\text{Cov}(P', \bar{Q}')}{\sigma(P') \cdot \sigma(\bar{Q}')} \quad (3)$$

其中,

$$\text{Cov}(P', \bar{Q}') = \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I'_1(x'_1 + i, y'_1 + j)] [I'_2(\bar{x}'_2 + i, \bar{y}'_2 + j)] \quad (4)$$

$$\sigma(P') = \sqrt{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I'_1(x'_1 + i, y'_1 + j)]^2} \quad (5)$$

$$\sigma(\bar{Q}') = \sqrt{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I_2'(x_2' + i, y_2' + j)]^2} \quad (6)$$

由式(3)可知, 相关值 S 的取值范围从 -1 到 1 , 相关值 S 越大, 点 P' 和 \bar{Q}' 就越相似。在实际匹配过程中, 先确定一个有效的相关值的阈值, 然后令搜索窗口中的每个点依次与点 P' 计算其相关值 S , 当某点 \bar{Q}' 计算出来的相关值大于该阈值时, 可认为该点是特征点的候选匹配点; 最后, 从候选匹配点 P' 中选取最优的匹配作为精确的匹配位置^[7]。若无满足条件的匹配点, 则重新选取特征点, 再依次进行粗略匹配和精确匹配, 通常反复几次即可得出结果。但具体实现时, 为防止本身就不匹配的待拼接图像导致程序运行时陷入无限循环, 需要设置一个最大反复次数, 当程序循环超过此值时则跳出, 结束程序并提示无法完成匹配。

4 图像的平滑处理

通过上面的算法得到缝合点 P' 和 \bar{Q}' 后, 两幅图像的位置就得到了唯一的确定, 如果让图像 I_2' 直接平移使得 \bar{Q}' 移到图像 I_1' 的 P' , 即可完成两幅图像的拼接。

但是由于两幅图像间存在着亮度的差异, 如果仅将两幅图像进行简单的叠加, 在拼接处会产生明显的边界。为避免这种情况的发生, 实现图像的无缝拼接, 必须对重叠部分进行平滑处理。本文采用了图像融合的方法以提高图像质量。

常用的图像融合方法有平均值法和渐入渐出法^[8]。前者方法简单, 但效果欠佳, 而后者可以较好的实现重叠部分的平滑过渡。

匹配点确定后, 由 I_1 和 I_2 的水平重叠距离可求得其渐变系数 d , 设两幅图像的灰度值分别用 $I_1(i, j)$ 和 $I_2(i, j)$ 表示, 则重叠区域图像的灰度值 $I(i, j)$ 可表示为:

$$I(i, j) = d \cdot I_1(i, j) + (1 - d) \cdot I_2(i, j) \quad (7)$$

可以看出, 当 d 由 1 逐渐变化到 0 时, 图像灰度值从 $I_1(i, j)$ 过渡到了 $I_2(i, j)$, 从而实现了图像的无缝拼接。

具体编程时, 平移操作在一块新分配的区域中进行, 分配区域图像灰度信息的赋值可按照下图所示进行: 图中 A、B 区域的灰度信息从图像 I_1 获得, D、E 区域的灰度信息从 I_2 获得, C 区域 (即重叠区域) 按照上述渐入渐出法的公式应是 I_1 和 I_2 两图灰度信息加权的和。

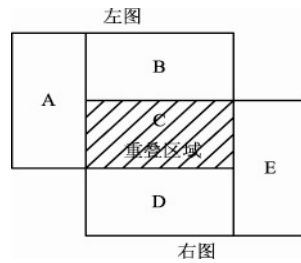


图 2 图像灰度信息赋值示意图

5 实验结果

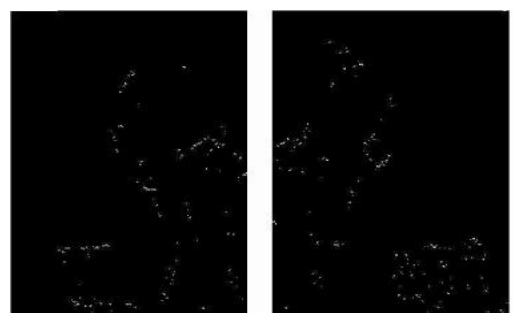
通过 MATLAB 平台实验表明, 本算法在图像拼接中算法优化, 缝合点查找精确, 在重叠区域过渡平滑, 无缝拼接能够取得良好的效果。图 3 为中南大学铁道校区广场球形景观某次实验的拼接效果, 两幅图像此时确定的匹配点分别为 $(224, 166)$ 和 $(36, 164)$, 由于是随机选点, 因此每次实验所得的匹配点不一定相同, 但都可以达到预期的拼接效果。



原灰度图像



边缘检测后的图像



图像中提取的特征点



拼接完成后的图像

图3 MATLAB程序实现的图像拼接效果

为保证缝合点的准确性,选取参数 $m=n=10$ 。由于 P' 、 Q' 分别为 P 和 Q 变换后的对应点,所以搜索窗口较小,取 $s=t=5$,相关值的阈值为 0.95。

6 结束语

本算法先对待拼的两幅图像进行边缘检测,以此来进一步提取特征点,进而确定两幅图像的缝合点及二者的匹配位置,然后采用渐入渐出法对图像的重叠区域进行平滑过渡处理,从而实现了图像的无缝拼接。

实验结果表明,文中所提出的算法合理,首先采用边缘检测使得特征点的提取更有针对性,避免了许多无意义的计算,降低了运算量,最终实现的图像无缝拼接取得了良好的效果,为图像拼接的研究工作提

供了一种新的思路。

本文作者创新点:利用边缘检测缩小了待提取的特征点的寻找范围,降低了运算量;匹配位置的寻找采用先粗略匹配后精确匹配的策略,提高了匹配精度。

参考文献

- 1 徐光正,田清,张利欣,等.图像拼接方法探讨.微计算机信息,2006,10(3):255-257.
- 2 钟立,胡晓峰.重叠图像拼接算法.中国图像图形学报,1998,(5):22-27.
- 3 孙华燕,周道炳,李生良.一种序列图像的拼接方法.光学、精密工程,1999,(4):48-51.
- 4 Stein G. Accurate internal camera calibration using rotation with analysis of sources of error. Proceedings of the 5th International Conference on Computer Vision, 1995:230-236.
- 5 张静,胡志萍,刘志泰,等.基于轮廓相位相关的图像自动拼接.大连理工大学学报,2005,45(1):68-74.
- 6 王莹,刘娜.小波变换技术在图像边缘检测中的应用.仪器仪表学报,2003,24(4):255-257.
- 7 陈虎.基于特征点匹配的图像拼接算法研究.海军工程大学学报,2007,19(4):94-97.
- 8 何斌,马天予,等. Visual C++数字图像处理.北京:人民邮电出版社,2001.