

# 基于光照调整和特征曲线的全景图拼接\*

肖甫 吴慧中 肖亮 汤杨

南京理工大学计算机科学与技术系, 南京 210094

**摘要** 图像拼接是生成全景图的关键技术之一, 针对传统图像拼接方法只能处理光照一致图像这一问题, 本文提出了一种对环境光照鲁棒的全景图拼接方法。该方法运用同态滤波、特征点自动提取、特征曲线匹配等技术, 有效地解决了图像拼接中的光照差、区域精确匹配、噪声点及图像融合问题。实验表明对光照变化的图像采用该方法进行拼接可以获得满意的视觉效果。

**关键词** 图像拼接 同态滤波 特征曲线 相似度

## 1 引言

全景图是近年来兴起的基于图像绘制技术中的重要研究方向, 其在虚拟环境、计算机视觉以及多媒体等领域得到广泛应用。获取全景图的方法包括: 1) 利用广角镜头和扫帚相机获得<sup>[1]</sup>, 但得到 360 度的全景图比较困难且边缘会产生变形。2) 利用图像拼接技术将一系列有重叠区域的普通图像进行无缝拼接, 可以很好地解决广角镜的不足, 而图像拼接质量决定了全景图的视觉效果。图像拼接根据相邻图像间重叠区域的相似性进行, 传统拼接算法主要分为两类: 基于特征的对准算法和基于相关的对准算法<sup>[2,3]</sup>。前者从图像的局部特征出发寻找最优匹配区域, 受光照影响其结果一般为局部最优解; 后者最小化图像重叠区域对应像素的差值, 受光照变化的影响较大, 抗干扰能力差; 因此亟待研究光照条件变化的图像拼接算法。

本文针对柱面全景图提出了基于光照调整和特征曲线的拼接方法。通过同态滤波处理左右图像, 调整使其光照度基本一致, 然后分别对调整后的图像提取特征图像、分块选择特征点、建立特征曲线, 最后通过在右图像特征曲线序列中搜索左图像特征曲线的最佳匹配部分, 从而确定左右图像的匹配位置。

## 2 柱面全景图的生成

照相机采集到的图像序列是在不同角度获得的, 不满足实际场景中的空间约束关系。如果对原始图像序列直接进行拼合会破坏实际场景的视觉一致性, 因此需要把原始图像投影到某个标准的投影面上。柱面投影和球面投影以其构造简单成为目前应用最多的标准投影面。

为了将图像投影到柱面空间上, 必须先知道相机的像素焦距, 文献<sup>[4]</sup>给出了在相机绕经过光心的垂直轴旋转的前提下, 从环视图像序列中恢复相机像素焦距的算法。摄像机运动有很多自由度, 本文只考虑固定视点摇镜头(pan)向四周拍摄的情况。将相机固定在三角架上, 绕通过其光心的垂直轴旋转拍摄图像, 并且保证相邻图像之间有一定的重叠区域。在原始图像采集过程中相机没有发生较大的俯仰和偏斜, 所采集到的图像序列之间主要是平移关系。通过圆柱面将图像坐标  $(x, y)$  映射到圆柱面坐标  $(x', y')$  公式<sup>[5]</sup>为:

$$x' = f \times \arctg \left[ \frac{x - \frac{W}{2}}{f} \right] + f \times \arctg \left( \frac{W}{2f} \right) \quad y' = \frac{f \left( y - \frac{H}{2} \right)}{\sqrt{\left( x - \frac{W}{2} \right)^2 + f^2}} + \frac{H}{2}$$

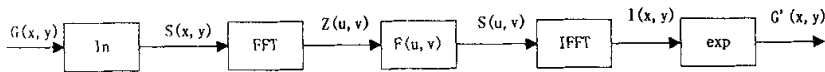
\* 本课题得到国防预研项目和高等学校博士点专项基金(No. 200288024)资助

其中,  $w$  和  $H$  分别对应图像的像素宽度和高度,  $f$  为照相机的像素焦距。

### 3 图像光照处理

传统的图像拼接都假设待拼接图像拍摄时光照条件没有变化,但这种假设有时并不满足。当待拼接图像的光照度变化较大时,传统拼接方法存在两个问题:首先,拼接算法依赖光照条件从而影响拼接位置的精确计算;其次,全景图浏览时光差变化较大,给人不真实的感觉。

同态滤波是一种频域的图像增强处理方法,通常用于处理光照不均的图像问题。在模型简化的条件下图像可以看成是场景照明与目标表面单元反射系数的乘积,即:  $G(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y)$ 。其中  $i(x, y)$  是场景光照度,且  $0 < i(x, y) < \infty$ ; 而  $r(x, y)$  是反射系数,且  $0 < r(x, y) < 1$ 。首先建立对数函数图像,这样乘法转变为加法,然后进行傅立叶变换,由于场景照明度变化缓慢对应图像低频部分,而反射系数变化剧烈对应高频部分,因此可以使用滤波器来修改低频部分或高频部分以增强图像。具体流程为:



实验中,通过调整照相机曝光系数来模拟光照的变化。设  $I_1$  和  $I_2$  为待拼接图像,其重叠区域分别为  $i_1$ 、 $i_2$ 。受环境光照变化影响,  $i_1$  和  $i_2$  中对应像素点的像素值并不完全相同。为了实现图像的无缝拼接,需要调整两图像的入射光。对  $i_1$  和  $i_2$  进行同态滤波计算环境光照度  $s_1$  和  $s_2$ ,  $i_1$ 、 $i_2$  光照度与  $I_1$ 、 $I_2$  的光照度对应。选定  $I_2$  为标准光照,对图像  $I_1$  参照  $s_2$  调整  $s_1$ , 得到与  $I_2$  光照度基本一致的图像  $I_1'$ , 其中滤波器

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^n}, \quad D_0 = 2, n = 2$$

### 4 基于特征曲线的图像拼接

#### 4.1 图像特征点的选取

图像的特征点不仅灰度有特点,而且在集合位置上也有特点,一般为图像中的边缘点、角点、拐点等。通常,两幅图像重叠区域水平偏移量不超过图像宽度的一半,而垂直偏移量也不超过图像高度的十分之一。因此我们只需在图像的可能重叠区域内进行搜索而不必扩展到整个图像空间。设左图像  $I_1'$  待匹配模板为  $T_1$ , 如图 1 所示:  $T_1$  和  $I_1'$  的水平中线一致,通过向上、向下延伸  $n$  个像素;右图像  $I_2$  搜索区域为  $S$ , 初始匹配模板为  $T_2$ , 如图 2 所示:  $S$  和  $I_2$  的水平中线一致,通过向上、向下延伸  $3n$  个像素,  $T_2$  和  $I_2$  的水平中线一致,通过向上、向下延伸  $n$  个像素,  $n$  为图像高度的十分之一。



图 1 待匹配模板

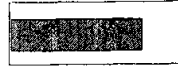


图 2 初始匹配模板

类似<sup>[6]</sup>的方法选取特征图像  $t(x, y)$ :

$$t(x, y) = \min\{A, B, C, D\} \quad (1)$$

其中:

$$\begin{aligned} A &= [f(x, y) - f(x-1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x+1, y)]^2 & B &= [f(x, y) - f(x, y-1)]^2 + [f(x, y) - f(x, y+1)]^2 \\ C &= [f(x, y) - f(x-1, y+1)]^2 + [f(x, y) - f(x+1, y-1)]^2 & D &= [f(x, y) - f(x-1, y-1)]^2 + [f(x, y) - f(x+1, y+1)]^2 \end{aligned}$$

水平方向上将  $T_1$  对应的特征图像划分成互不重叠的小区域  $W$ , 在每个小区域中取值最大的点作为特征点。为了实现图像的最佳匹配,在  $S$  对应的特征图像中对  $T_2$  在水平和垂直两个方向平移,得到不同偏移量下的对应匹配模板序列  $T$  及其特征点。

4.2 特征曲线及最佳匹配位置计算

以  $W$  的编号为横坐标,对应特征点的像素值为纵坐标,即可得到图像匹配模板的特征曲线.图像具有重叠区域,对应特征曲线的某一段具有较好的相似性<sup>[7]</sup>.因此,图像重叠区域的确定就转化为特征曲线的匹配.接下来的工作就是在搜索区域  $S$  对应的特征曲线序列  $T$  中寻找一条  $T_{like}$ ,使  $T_1$  和  $T_{like}$  中某段的相似程度是所有一匹配中最好的

$Diff(T_1, T') = \min \sum_{i=1}^{L_1} \sum_{k=0}^{L_2-L_1} (T_1(i) - T'(i+k))^2$ , 其中  $T' \in T$ ,  $L_1, L_2$  分别为  $T_1, T'$  对应特征曲线的长度.  $Diff(T_1, T') = \min \sum_{i=1}^{L_1} \sum_{k=0}^{L_2-L_1} (T_1(i)^2 + T'(i+k)^2 - 2T_1(i)T'(i+k))$ , 其中  $\sum_{i=1}^{L_1} T_1(i)^2$  为  $T_1$  对应特征曲线的能量,为常数;  $\sum_{i=1}^{L_1} T'(i+k)^2$  随着  $k$  的增长变化缓慢,为特征曲线  $T'$  中的一段,其能量也可以视为常数,因此  $Diff(T_1, T')$  对应  $T_1(i)T'(i+k)$  最大,类似<sup>[6]</sup>,定义归一化互相关函数为:

$$Similarity(T_1, T') = \max_{k=0}^{L_2-L_1} \frac{\sum_{i=1}^{L_1} (T_1(i)T'(i+k))}{\left(\sum_{i=1}^{L_1} T_1(i)^2\right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^{L_1} T'(i+k)^2\right)^{\frac{1}{2}}}$$

特征曲线对应图像区域块的特征点.前面采用(1)式计算特征图像可能包含噪声点,而计算重叠区域时考虑特征点邻域像素,消除了噪声的干扰.因此逐个计算  $T' \in T$ ,当  $Similarity(T_1, T')$  最大时,  $T'$  即为  $T_1$  的最佳匹配曲线  $T_{like}$ ,此时特征点  $T_{like}(i+k)$  和  $T_1(i)$  相匹配,由此确定图像的重叠区域.

5 实验结果及结论



图3 不同光照条件下的待拼接图像



图4 调整光照后的图像及拼接图像

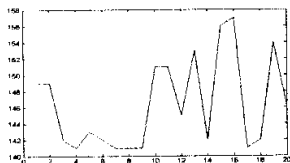


图5 特征曲线1

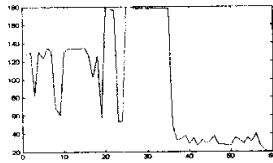


图6 特征曲线2

图3显示了在不同环境光照条件下拍摄的两幅图像,图3(a)比图3(b)要暗一些.通过同态滤波调整图3(a)的对比度,得到新的图像4(a),图4(a)和图3(b)对应点像素值基本相同.图5为对应  $T_1$  的特征曲线,图6

为  $T_2$  在  $S$  中偏移量为  $(5, 19)$  时的特征曲线。拼接的结果如图 4 (b) 所示。图 7 为对另外一组图片使用本文方法得到的全景图。



图 7 一个用本文方法得到的全景图

实验表明,本文的算法是有效的.在调整环境光照度时使用同态滤波,对图像低频部分调整很好地实现了环境光照的一致;图像特征点定义为特征图像中的最大值点,最后计算重叠区域时,特征点邻域像素的考虑较好地克服了噪声点的影响,这二者保证了算法鲁棒性。

## 参 考 文 献

- [1] Hartley R, Gupta R. *Linear push broomcameras*. In *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference on computer Vision*, Stockholm, Sweden, 1994: 555–566
- [2] Brown L G. *A survey of image registration techniques*. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325–376
- [3] Szeliski R, Shum H-Y. *Creating full view panoramic image mosaics and texture-mapped models*. In *Proc SIGGRAPH'97*, Los Angeles, California, 1997. 251–258
- [4] Kyung Ho Jang, Soon Ki Jung. *Constructing cylindrical panoramic image using equidistant matching*. ELECTRONICS LETTERS 30<sup>th</sup> September 1999 Vol.35 NO.20
- [5] 张茂军, 虚拟现实系统. 北京: 科学出版社. 2001.9, pp126–127
- [6] 高文, 陈熙霖. 计算机视觉, 北京: 清华大学出版社, 1999.2, pp 65–72
- [7] 封靖波, 苏志勋. 一种基于相似曲线的全景图自动拼接算法. 计算机学报, 2003, 11: 1605–1608

## Illumination alignment and Characteristic curve match Based Panorama Mosaics

Xiao Fu Wu Huizhong Xiao Liang Tang Yang

Department of Computer Science & Technology, NUST, Nanjing 210094

**Abstract** Image mosaic is the key step for panorama, while existing algorithms focus on scenes with a same illumination. This paper presents a novel method for image mosaics with notable illumination difference. Using homomorphic filtering, feature points extraction and characteristic curves matching, our method gives a good solution for illumination difference, accurately match, noise points, etc problems in image mosaics. The results of experiment show that we can gain good visual effect by using this method in image mosaics with notable illumination difference.

**Keywords** image mosaics; homomorphic filtering; characteristic curves; similar degree