

一种光照鲁棒的基于特征点的柱面全景图拼接算法

摘要

本文提出一种基于特征点的光照鲁棒的全景图拼接算法。首先对图像做柱面投影并用同态滤波进行光照一致性处理；然后用 Harris 角点法提取特征点后以 Hu 不变矩特征向量描述每个特征点，用空间方向约束的方法确定匹配点；最后用线性加权法对图像两两做图像融合处理。与现有常见的全景图拼接算法相比，本文算法解决了光照不一致问题，并且加强了图像匹配的鲁棒性。

关键词：全景图，不变矩，同态滤波

ABSTRACT

This paper presented the basic flow of image mosaics and separated the research into two key distinctive parts, which are image registration techniques and image fusion techniques. Finally it came up with a new algorithm of image mosaics, which improved both the registraton and the fusion part.

KEY WORDS: image mosaics, image registration, image fusion

1 概述

在工程或生活中常常需要用到全景图或超宽视角图像来弥补人眼视角的限制。能够拍摄全景图的相机价格比较昂贵，本文介绍一种可以嵌入于普通相机的全景图拼接方法，使普通相机可以拍摄出高质量的全景图。图像拼接技术是生成全景图的最关键技术。随着图像拼接技术的发展，其在科研领域、日常生活以及其他领域的作用性越来越重要。图像拼接技术已融入许多前沿科技中，如：空间探测、遥感图像处理、医学图像分析、视频压缩传输、虚拟现实技术以及超分辨率重构技术等。对于图像拼接，人们也不断提出了新的要求，自动化、实时性、立体图像拼接是未来图像拼接技术的发展方向。

本文所介绍的柱面全景图的生成流程有四个主要步骤：柱面投影、光照调整、特征点配准和图像融合。与常见的全景图拼接算法相比，本文的方法着重对全景图的光照不一致问题进行了处理，并且使用特征点匹配的方法增强图像匹配时对于光照与噪声的鲁棒性。



2 柱面投影

柱面全景图一般是由相机绕通过光心的轴水平旋转一周拍摄后获得。由于拍摄的相片视角不一致，如果将它们直接拼接会导致场景的不一致。因此，生成此类全景图首先要将图像投影到柱面体上。

本文考虑相机架在三脚架上，绕其支点每旋转某一角度拍摄一张图像，相邻拍摄图像有一定重叠区域。这样拍摄出的相片主要是平移关系，可以直接通过一下公式将图像坐标投影到柱面上。

$$x' = f \times \arctan \left[\frac{x - \frac{w}{2}}{f} \right] + f \times \arctan \left(\frac{w}{2f} \right)$$

$$y' = \frac{f \left(y - \frac{H}{2} \right)}{\sqrt{\left(x - \frac{w}{2} \right)^2 + f^2}} + \frac{H}{2}$$

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。

由此可见，如果需要将图像投影到圆柱面上必须知道相机的像素焦距。我们可以通过文献提出的方法从环视图像序列中恢复相机像素焦距。

3 光照调整

光照问题由于其复杂性，在图像拼接中一直没有统一的解决方案。传统的图像拼接以光照条件无变化为前提，然而在拍摄全景图时需要在定点旋转，这样每张图像的光照角度必定会不一致，不作处理直接拼接后会有失真的感觉。

同态滤波是把频率过滤和灰度变换结合起来的一种图像处理方法，它依靠图像的照度/反射率模型作为频域处理的基础，利用压缩亮度范围和增强对比度来改善图像的质量。

同态滤波的基本原理是：将像元灰度值看作是照度和反射率两个组份的产物。由于照度相对变化很小，可以看作是图像的低频成份，而反射率则是高频成份。通过分别处理照度和反射率对像元灰度值的影响，达到揭示阴影区细节特征的目的。

同态滤波处理的流程如下：

$$S(x,y) \text{ -----} \rightarrow \text{Log} \text{ ----} \rightarrow \text{FFT} \text{ ----} \rightarrow \text{高通滤波} \text{ ----} \rightarrow \text{IFFT} \text{ ----} \rightarrow \text{Exp} \text{ ----} \rightarrow \text{T}(x,y)$$

其中 $S(x, y)$ 表示原始图像； $T(x, y)$ 表示处理后的图像； Log 代表对数运算； FFT 代表傅立叶变换； IFFT 代表傅立叶逆变换； Exp 代表指数运算。

这里我们使用的同态滤波器如下式

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

4 特征点提取与匹配

4.1 特征点提取

Harris 角点检测算法是目前比较主流的特征角点检测方法。Harris 算子是由 C.Harris 和 M.J.Stephens 在 1988 年提出的一种特征点提取算子。通过 Harris 矩阵算子提取角点：

$$H = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right) & \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right) & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right) \end{bmatrix} * L \quad \text{式(1)}$$

其中 $I(x,y)$ 是图像点 (x,y) 处的灰度值， $\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)$ 、 $\left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)$ 分别是图像在 x 和 y 方向的一阶导数。

L 为一个线性低通 $N*N$ 的高斯模板，用该模板对 H 的四个因子进行掩模滤波即可消除一定得噪声。经过高斯滤波后，通过式(2)角点响应函数 R 求取角点响应值：

$$R = \det(H) - k(\text{trace}(H)) \quad \text{式(2)}$$

其中， $\det(H)$ 为矩阵 H 的行列式， $\text{trace}(H)$ 为矩阵 H 的迹， k 为一阈值系数，可以用来控制特征点的个数。

求得角点响应值 R 后，将其与阈值 T 比较，只有当 $R>T$ 时，则将其视为初始特征点。

Harris 算子在图像旋转、灰度变化、噪声影响和视角变化的时候具有一定的鲁棒性，然而对于尺度变化较为敏感。

4.2 特征点描述

特征点匹配是将不同图像上由同一场景点投影而成的特征点对找出来，利用特征点周围区域的灰度信息求取某种特征向量，再通过特征向量间的相似性来判别是否匹配。特征向量对旋转、对尺度、缩放有较强的鲁棒性。

SIFT 算子是近年来应用较为普遍的特征向量描述算子，用 128 维的特征向量来描述特征点，精确度相当高。然而随着特征向量的维数越多，计算量也越大，用于普通图像拼接就会使拼接效率下降，特别是对于本文所要求的实时性较高的普通相机全景图拼接适用性不强。因此找到描述精确性与匹配高效性的平衡是一个有待解决的问题。

Hu 不变矩以 7 个对变换不敏感的矩特征作为特征向量，也能取得较为精确的匹配效果。本文采用 Hu 不变矩作为特征点的描述子，其算法如下：

选择以特征点为中心半径为 r 的圆形区域分别计算该区域的红，绿，蓝三种分量的七维 Hu 不变矩，并将这三个 Hu 矩合并为一个 21 维的特征向量。其具体步骤如下：

- (1) 在半径为 r 的圆形区域内分别计算红，绿，蓝三种分量的七维 Hu 不变矩 R 、 G 、 B 。
- (2) 调整 R 各维的值，使得 $R(i) = |\log(R(i))|$ ， G 和 B 做同样操作。
- (3) 合并不变矩 R 、 G 、 B 得到特征点 21 维的特征向量 $V=[R G B]$ ，并按照式(3)将向量模值进行归一化。

4.3 特征点匹配

得到特征点与特征向量后，需要将特征点根据特征向量的相似程度匹配起来形成初步匹配集，然后根据空间约束条件来删减初步匹配集中的匹配点对，得到最终的匹配点对集。具体过程如下：

(1) 在匹配图像中选择一个特征点 $P_r(i)$ ($1 \leq i \leq N_r$)， N_r 为匹配图像特征点的数目，假设其特征向量为 $V_r(i)$ 。在模板图像中选择一个特征点 $P_t(j)$ ($1 \leq j \leq N_t$)， N_t 为模板图像特征点的数目，假设其特征向量为 $V_t(j)$ ，通过式(4)所表示两特征向量各维的相对距离之和作为这两个特征点的相似性度量 S 。

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{|V_t(i) - V_r(i)|}{|V_t(i)| + |V_r(i)| + \varepsilon} \quad \text{式(5)}$$

ε 为任意小整数，防止分母为 0 的情况发生。

(2) 对模板图像中所有的特征点计算它们与特征点 $P_r(i)$ 的相似性度量。记录相似性度量值最小的特征点 $P_t(j)$ ，以及最小相似性度量值 Min ，并记录第二小的相似性度量值 SMin 。如果 $\text{Min} < \text{Thr} * \text{SMin}$ ，则初步认为 $P_t(j)$ 为 $P_r(i)$ 的匹配点，否则认为 $P_r(i)$ 在模板图像中无匹配特征点。其中 Thr 为一阈值，一般取值 $0.8 \sim 0.9$ 。

(3) 对于步骤 2 获得的 $P_r(i)$ 的匹配点 $P_t(j)$ ，返回到匹配图像中通过步骤 1 和步骤 2 寻找 $P_t(j)$ 在匹配图像中的匹配点 $P_r(i')$ 。如果 i 等于 i' ，则最终认为 $P_r(i)$ 与 $P_t(j)$ 匹配，如果 i 不等于 i' ，则最终认为 $P_r(i)$ 在模板图像中无匹配点。

(4) 对匹配图像中所有的点按照步骤 1、2、3 求取它们在模板图像中的匹配点。所有的匹配点对构成初始匹配集。

对于摄像机绕其中心在某一平面旋转而不发生绕主轴旋转而拍摄的两幅图像，当将他们在有重叠部分的一端排在一起时，正确匹配点之间线段的倾斜角和长度都极为相近。因此在获得初始匹配集后可以利用倾斜角和距离去除误匹配点的方法，从初始匹配集中删去倾斜角与距离不符合要求的点对。

5 图像融合

线性加权法是最为常见的融合算法。它不但方法简单而且对于普通图像融合效果也很好。将两幅图像对应像素点乘以一个加权系数后再相加得到融合的图像。设图像 $I_1(x,y)$ 的加权系数为 α ，则融合图像可表示为

$$I(x,y) = \alpha I_1(x,y) + (1 - \alpha) I_2(x,y)$$

其中：加权系数 α 满足 $0 \leq \alpha \leq 1$ 。 α 随像素点距边界的距离由 1 慢慢变化到 0，这时图像从 $I_1(x,y)$ 慢慢过渡到 $I_2(x,y)$ ，就可以实现图像间的平滑过渡，从而消除了拼接的痕迹。

6 实验结果

我们选取在同一地点拍摄的两张具有重叠部分的图像。由于两张图像是在同一地点旋转一定角度后拍摄得到，因此在进行融合前线要对其进行形变处理，将它们投影到柱面上。

原始图像：



柱面投影:



结果图像:



实验表明，本文的算法是有效的。在调整光照时使用同态滤波很好地实现了图像光照一致。用 harris 角点检测法提取的角点以及用 Hu 不变矩描述的特征向量对于光照和噪声都有较好的鲁棒性。

7 □□

本文介绍了一种可应用于普通相机所拍摄图像的全景图拼接算法，加强了传统全景图拼接算法中光照问题的处理，并增强了图像配准的鲁棒性。该算法可嵌入于数码相机内，使相机可以直接拍摄得到柱面全景图。

参考文献

- [1] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]//Proc of the 4th Alvey Vision Conference. Manchester:[s.n.], 1988: 147-151
- [2] LOWE D.G Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J].International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91.110.
- [3] Jang Kyun Ho, Jung Soon Ki. Constructing cylindrical panoramic image using equidistant matching[J]. IEEElectronics Letters, 1999, 35(20):1715-1716.
- [4] Su Mingshing, Hwang Wenliang, Cheng Kuoyong. Analysis on mutlresolution mosaic images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(7):952-959.
- [5] Szeliski R, Shum H Y. Creating full view panoramic image mosaics and texture-mapped models[A].In Proceedings of SIGGRAPH 97[C], Los Angeles, California, USA, 1997: 251-258.
- [6] Reinhar Erik, Ashikhmin Michael, Bmee Gooh, et a1. Color transfer between images[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(5): 34-41.