

基于多分辨率技术的快速全景图图像匹配算法

李立鸿 施鹏飞 赵群飞

(上海交通大学图像处理与模式识别所, 上海 200030)

摘要 为了对全景图像进行快速拼接和准确匹配,提出了一种新的基于多分辨率技术,利用相邻图像之间的颜色和边缘信息进行图像拼接的算法。目前应用于全景图制作的图像匹配算法通常要求拍摄时,相机要绕一垂直转轴(如三角架)做水平转动,同时不仅要求拍摄出的相邻图像有较多的重叠部分,而且相邻图像的光照差别不能太大,而新算法则避免了上述的对图像获取条件和图像质量的严格限制。因为该算法受相邻图像间光照强度变换和由镜头带来的图像形变的影响较小,所以在图像匹配实验中,该算法对各种条件下获取的图片都表现出很好的鲁棒性。实验结果表明,该算法在降低计算复杂度的同时,还有效地克服了由图像形变和不同光照条件所带来的图像的拼接困难。

关键词 全景图 图像拼接 图像匹配 多分辨率

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: 文章编号: 1006-8961(2006)09-1271-05

A Multi-resolution Based Image Registration Method for Panorama

LI Li-hong, SHI Peng-fei, ZHAO Qun-fei

(Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030)

Abstract This paper presents a novel multi-resolution based approach which utilizes both the color and the edge information to create mosaic from two neighbor images. Unlike current image stitching algorithm, which usually requires pure horizontal camera panning, more overlapping and less exposure differences between two images, our method avoids the strict constraints on how the images are taken and the quality of the images. The proposed algorithm is robust because it is less influenced by the illumination differences and the distortion of the images brought in by lens. Experiments indicate that our algorithm is fast for the introduction of multi-resolution method.

Keywords panorama, image mosaic, image registration, multi-resolution

1 引言

基于图像绘制(image based rendering, IBR)的虚拟现实技术是目前虚拟现实研究中非常活跃的研究课题,而全景图的生成则是其中重要的应用领域之一。这种全景图是通过将多幅场景图像进行匹配、拼接来实现的。

目前常见的匹配算法有:相位相关度算法^[1-4]、特征无关的方法^[5-8]和基于特征的方

法^[9,10],但是各算法都存在一定的局限性,且对匹配的图像质量一般要求比较高,而对于用普通数码相机在不受限制的条件下拍摄到的图像的匹配效果则不尽理想。

相位相关度算法对于理想的两幅相邻图像,即对于不存在明显曝光差异和边缘扭曲的图像的处理效果很好,但是对于存在上述质量问题的图像却很难得到预期的效果。文献[5]提出了先在相邻帧间进行纹理特征跟踪,进而求摄像机焦距和帧间偏移距离的算法。该算法虽能取得较好的精度,但是纹

基金项目:国家自然科学基金项目(60273047)的部分资助

收稿日期:2005-04-06 改回日期:2005-06-20

第一作者简介:李立鸿(1979~),男,2003年获华中科技大学学士学位,现为上海交通大学硕士研究生。主要研究领域为图像处理。

E-mail: simonanddemon@sjtu.edu.cn

理特征的检测和跟踪却带来了巨大的计算量。文献 [6, 7] 的算法是采用有 8 个未知参数的矩阵来描述两幅图像之间的颜色变换关系,并用最小化算法来估计该矩阵。该算法由于采用了迭代的方式解非线性方程组,所以对迭代初始值特别敏感,而且能否得到解还要完全依赖于迭代初始值。另外,如果两幅图像的曝光条件差得比较远,那么该算法的匹配效果就不甚理想。文献 [9] 的算法对于相邻图像的重叠部分有部分物体位置不同时——例如人物、汽车的运动,则可能会发生对不齐的现象。文献 [11] 的算法对于存在上下位移的两幅图像,则可能得不到预期的匹配效果。

本文针对上述的问题,提出了通过降低分辨率来加速匹配过程和综合考虑颜色和梯度信息的图像匹配算法。该算法首先在较低分辨率基础上,通过颜色和梯度信息对图像进行粗匹配,然后基于上一

步的结果对原始图像进行精细匹配。这样就提高了对大图像的匹配速度,还放宽了拍摄原始图像的条件,同时改善了光照存在显著差异,且边缘扭曲的两幅相邻图像的匹配效果。

2 图像匹配算法

2.1 柱面投影算法

全景图制作中,由于匹配用的图像是相机在不同角度下拍摄的,它们并不在同一投影平面上,因此如果对图像直接进行拼接,则会产生严重的失真和变形。为了降低匹配的难度和保证拼接图的视觉一致,必须将图像映射到一个标准投影面(柱面)上。文献 [12] 给出了焦距的估计方法和进行图像柱面投影的公式。柱面投影如图 1 所示。

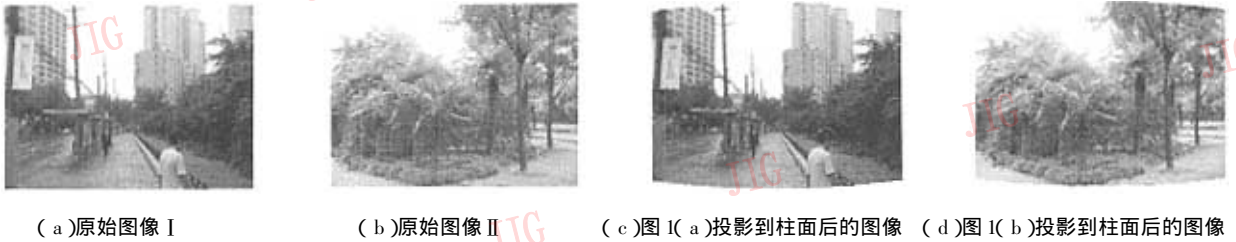


图 1 柱面投影的示例

Fig. 1 result of cylinder projection

2.2 图像匹配算法

经过了投影处理,需要匹配的两幅图像之间的变换关系就可以近似为平移关系,平移参数记作 (u, v) 。为了求取平移参数,需要给出两幅图像之间匹配程度的度量,称之为图像间距离。

为便于叙述,首先给出如下 3 种图像间距离的定义:

(1) 图像间的 HSV 颜色空间距离

与 RGB 颜色模型相比,HSV 颜色模型可以从彩色信息中消去亮度对彩色信息的影响。由于这样可单独处理亮度分量,因而有助于减轻困扰两幅相邻图像匹配的亮度差异问题。

图像间的 HSV 颜色空间距离 D_c (下角 c 代表 color) 定义在两幅 HSV 图像 I_{HSV} 和 \hat{I}_{HSV} 上

$$D_c = \sum_{\substack{(x, y) \in I_{\text{HSV}} \\ (\hat{x}, \hat{y}) \in \hat{I}_{\text{HSV}}}} [(h(x, y) - h(\hat{x}, \hat{y}))^2 + (s(x, y) - s(\hat{x}, \hat{y}))^2 + (u(x, y) - u(\hat{x}, \hat{y}))^2] \quad (1)$$

式中 (x, y) 是 HSV 图像 I_{HSV} 中一个像素的坐标, (\hat{x}, \hat{y}) 是图像 \hat{I}_{HSV} 中对应于 (x, y) 的像素坐标; $h(x, y)$, $s(x, y)$ 和 $u(x, y)$ 分别是 HSV 图像中像素 (x, y) 的色度分量、饱和度分量和亮度分量。值得注意的是,如果图像 I 中某点在图像 \hat{I} 中的对应点落在图像 \hat{I} 的边界之外,则该点对 D_c 没有贡献。

为了尽量减小两幅图像的光照差异对 D_c 的影响,必须首先均衡两幅图像的光照。均衡方法是,分别统计图像 I 和图像 \hat{I} 在有效区域内所有点的亮度 v 的累加值 V 和 \hat{V} ,两个累加值相除就可以得到一个光照强度的比例

$$K = \frac{V}{\hat{V}} = \frac{\sum u(x, y)}{\sum \hat{u}(x, y)} \quad (2)$$

根据这个比值,通过调整两边图像的亮度,然后就可以计算两幅图的颜色空间距离 D_c 。

(2) 低分辨率边缘投影图像距离

本文的算法采用 Canny 算子,通过提取边缘来

更有效地利用图像中的梯度信息,但是原始图像降低分辨率之后,由于信息的丢失,会使图像的边缘变得很难提取,为此本文首先定义了低分辨率投影图像,进而提出低分辨率边缘图像投影距离,以便更方便地利用边缘信息做低分辨率处理。

低分辨率边缘投影图像的获取,即通过把原始图像用 Canny 算子得到的边缘图像进行小波变换来降低图像的分辨率。这样就可从二值的原始边缘图像得到了低分辨率边缘投影灰度图像。

低分辨率边缘投影图像距离 D_e (下角 e 代表 edge) 定义在两幅低分辨率边缘投影图像 I_{low} 和图像 \hat{I}_{low} 之上,即

$$D_e = \sum_{\left\{ \begin{matrix} x, y \in I \\ \hat{x}, \hat{y} \in \hat{I} \end{matrix} \right\}} [K(x, y) - K(\hat{x}, \hat{y})]^2 \quad (3)$$

式中 $K(x, y)$ 表示低分辨率图像 I_{low} 中像素点 (x, y) 的灰度值, $K(\hat{x}, \hat{y})$ 表示低分辨率图像 \hat{I}_{low} 中对应于 (x, y) 的像素点 (\hat{x}, \hat{y}) 的灰度值。如果图像 I 中某点在图像 \hat{I} 中的对应点落在图像 \hat{I} 的边界之外,则该点对 D_e 没有贡献。

(3) 基于 Hausdorff 距离的边缘图像距离为

本文在两幅原始边缘图像 I_e 和 \hat{I}_e 上定义了边缘图像的 Hausdorff 距离为

$$D_h = \max \left(\frac{1}{N_P} \sum_{p \in P} \min_{q \in Q} \|p - q\|, \frac{1}{N_Q} \sum_{q \in Q} \min_{p \in P} \|q - p\| \right) \quad (4)$$

式中 P 、 Q 分别是对应于给定的平移参数 u 和 v 的图像 I_e 和图像 \hat{I}_e 上重合部分的两个点集; N_P 和 N_Q 分别是点集 P 、 Q 的模。

基于上述的图像间的距离,定义两幅降低分辨率以后的图像之间的距离为

$$D_{low} = \alpha D_c + \beta D_e \quad (5)$$

式中 D_c 为图像间的 HSV 颜色空间距离, D_e 为低分辨率边缘图像投影距离, α 和 β 分别为加权系数。

定义两幅原始图像之间的距离

$$D_{low} = D_c^\gamma \times D_h^\lambda \quad (6)$$

式中 D_c 为图像间 HSV 颜色空间距离, D_h 为边缘图像的 Hausdorff 距离 (D_h 下角 h 代表 Hausdorff); γ 和 λ 分别为加权系数。这里 D_c 、 D_e 和 D_h 都是 u 和 v 的函数,而使得 D 最小时的 u 和 v 就是所求的平移参数。

两幅图像匹配算法的步骤如下:

(1) 低分辨率匹配 通过最小化两幅低分辨率图像之间的距离 $D_{low} = \alpha D_c + \beta D_e$ 来求得低分辨率

条件下的平移参数;

(2) 精细匹配 用前一步求得的平移参数作为初始条件来求出使得两幅原始分辨率图像之间的距离 $D = D_c^\gamma \times D_h^\lambda$ 最小化的平移参数。

2.2 图像平滑算法

由于光照条件、曝光时间的不同,致使采集的图像在亮度上会有较大的差别,因此在图像的缝合线处会产生亮度的突变现象,这将影响生成的全景图的效果。本文算法首先对左右两图像进行亮度均衡,然后采用颜色渐进过渡的方法进行两幅图像的融合。两幅图像重合部分中任意一点 p 的值为

$$K(p) = I(x, y)u(\zeta) + I(\hat{x}, \hat{y})(1 - u(\zeta))$$

式中 $I(x, y)$ 和 $I(\hat{x}, \hat{y})$ 是点 P 分别在左右两幅图像中对应点的颜色值; $w(\zeta)$ 是线性权重函数, $u(\zeta) = \zeta$, $\zeta \in [0, 1]$, ζ 是点 P 与重合部分图像边缘的距离,在左边缘处取值为 1,右边缘取值为 0。

3 实验结果

为验证本文算法的效果,将几对比较典型的图像应用颜色信息^[6,7]或应用梯度信息^[11]的图像匹配方法与本文的图像匹配算法的匹配结果进行了比较。对比结果说明,基于多分辨率的、综合颜色和边缘信息的匹配算法不仅能够极大地提高大图像的匹配速度,同时可解决因亮度差异和边缘扭曲而导致的无法匹配的问题。

图 2(a)、图 2(b) 是两幅办公室原始图像。这两幅图像的特点是拍摄过程中相机的位置发生了变化,同时图像中的人物、椅子位置有了轻微的改变。图 2(c)、2(d)、2(e) 为应用颜色信息^[6,7]、梯度信息^[11]和用本文的算法进行匹配的结果。由该图可见,应用梯度信息进行匹配会有严重的错位现象,而用颜色信息匹配和用本文算法进行匹配的结果则较好。

图 3(a)、图 3(b) 是两幅居室原始图像。这两幅图像的特点是两边光照条件相差很大。例如从图 3(a) 中可看到,黑板上都是深黑色,具体表现为 RGB 值为零,而图 3(b) 的黑板上则有比较强的反射光,表现为亮白色,其黑板部分区域的 RGB 值甚至达到最大的 255。图 3(c)、图 3(d)、图 3(e) 分别是应用颜色信息^[6,7]、梯度信息^[11]和本文的算法匹配的结果。由该图可见,应用颜色信息进行的匹配失败,而用梯度信息进行的匹配和用本文的算法进行匹配的结果则较好。



(a)原始图像 I



(b)原始图像 II



(c)基于颜色信息的拼接结果



(d)基于梯度信息的拼接结果



(e)综合颜色和梯度信息拼接的结果

图 2 办公室图像几种不同匹配方法的匹配结果示例

Fig. 2 The stitching result of different method



(a)原始图像 I



(b)原始图像 II



(c)基于颜色信息的拼接结果



(d)基于梯度信息的拼接结果



(e)综合颜色和梯度信息拼接的结果

图 3 居室图像几种不同匹配方法的匹配结果示例

Fig. 3 The stitching result of different method

4 结 论

同传统算法相比,本文算法的一个突出优点在于提高了对大尺寸图像处理时的运算速度,因为算法通过多分辨率处理有效避免了因直接对原尺寸图像进行处理而产生的大量运算。当原图像的分辨率为 640×480 时,可通过将分辨率降低到 80×60 进行运算,则该算法的运行时间可减少到原运算时间的10%~15%;当原图像的分辨率为 $1\,024 \times 768$ 时,则运算时间可减少到原运算时间的5%~8%。

该算法的另一个优点就是降低了对图像质量的要求。对于传统的图像拼接算法来说,普通数码相机获取的图像,其质量有时不能满足算法的要求,因为由相机镜头的透射变换带来的照片边缘扭曲和曝光不一致而造成的相片之间亮度、色度的差别,都会给匹配带来很大的困难。本文提出的基于多分辨率的综合颜色信息和边缘信息的匹配算法,则充分考虑到了以上困难,并给出了解决方案。

实验的结果表明,对采用低档数码相机拍摄的存在质量问题的图像,本文的匹配算法可取得很好的效果;对高分辨率的大图像,本文的算法则可提高图像匹配的运算速度。

参考文献(References)

- 1 Kuglin C D, Hines D C. The phase correlation image alignment method[A]. In : IEEE Conference on Cybernetics and Society[C], New York, 1975 :163 ~ 165.
- 2 Reddy B S, Chatterji B N. An FFT based technique for translation, rotation, and scale invariant image registration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(8):1266 ~ 1271.
- 3 Xie Hong-jie, Nigel Hicks, Randy Keller G, et al. Automatic image registration based on a FFT algorithm and IDL/ENVI[A]. In : Proceedings International Conference on Remote Sensing and GIS/

- GPS[C]. Hyderabad, India, 2000, 1: 397 ~ 402.
- 4 Zhang Shi-yang, Wang Jun-jie, Hu Yun-fa. Development of fast panorama image mosaics[J]. Computer Application and software, 2004, 21(3): 77 ~ 79. [张世阳, 王俊杰, 胡运发. 一种快速全景图像拼接技术[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(3): 77 ~ 79.]
- 5 Stein G. Accurate internal camera calibration using rotation, with analysis of sources of error[A]. In : Proceedings of the 5th International Conference on Computer Vision(ICCV '95)[C], Cambridge, Massachusetts, USA, 1995: 230 ~ 236.
- 6 Szeliski R, Shum H Y. Creating full view panoramic image mosaics and environment maps[A]. In : Proceedings of ACM SIGGRAPH, Annual Conference Series[C], Los Angeles, California, USA, 1997: 251 ~ 258.
- 7 Qi Chi, Liu Qiang, Sun jia-guang. Video mosaic for panoramic image [J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2001, 13(7): 605 ~ 609. [漆驰, 刘强, 孙家广. 摄像机图像序列的全景图拼接[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(7): 605 ~ 609.]
- 8 Shum H-Y, Szeliski R. Systems and experiment paper : construction of panoramic image mosaics with global and local alignment[J]. International Journal of Computer Vision, 2000, 36(2): 101 ~ 130.
- 9 Bao P, Xu D. Complex wavelet based image mosaics using edge preserving visual perception modeling[J]. Computer and Graphics, 1999, 23(3): 309 ~ 321.
- 10 Zhang Hui, Cui Du-wu. Study and implementation of algorithm in creating panoramic image [J]. Computer Engineering, 2003, 28(6): 95 ~ 96. [张辉, 崔杜武. 全景图像生成算法的研究与实现[J]. 计算机工程, 2003, 28(6): 95 ~ 96.]
- 11 Feng Jing-bo, Su Zhi-xun, Liu Xiu-ping. An similar-curve based automatic mosaic algorithm of panoramic image[J]. Chinese Journal of Computers, 2003, 26(11): 1604 ~ 1608. [封靖波, 苏志勋, 刘秀平. 一种基于相似曲线的全景图自动拼接算法[J]. 计算机学报, 2003, 26(11): 1604 ~ 1608.]
- 12 Sun Li-fen, Zhong Li, Li Yun-hao, et al. Real-time walkthrough in real image-based virtual space[J]. Journal of Image and Graphics, 1999, 4(6): 507 ~ 513. [孙立峰, 钟立, 李云浩等. 虚拟实景空间的实时漫游[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(6): 507 ~ 513.]