

一种光照鲁棒的图像拼接融合算法

肖甫 吴慧中 肖亮 汤杨

(南京理工大学计算机科学与技术学院, 南京 210094)

摘要 针对传统图像拼接方法只能处理光照一致图像的问题,提出了一种对环境光照鲁棒的全景图拼接算法。该算法首先使用圆环投影来获取待拼接图像的匹配特征序列,不仅克服了传统图像特征提取方法中的区域局限性,而且较好地实现了光照变化的图像匹配;然后使用统计参数来调整待拼接图像的整体亮度,以解决光照变化问题;最后对于传统图像融合处理中采用线性加权函数通常引起的最终拼合图像重叠区域模糊问题,构造了包含图像梯度的能量函数,用于计算重叠区域的全局最优融合因子。实验表明,该算法对光照变化图像的拼接融合能取得满意的视觉效果。

关键词 基于图像的绘制 图像拼接 圆投影 图像融合 光照变化

中图分类号: TP391.9 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)09-1671-05

An Ambient Light Independent Image Mosaic Algorithm

XIAO Fu, WU Hui-zhong, XIAO Liang, TANG Yang

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract Image mosaic is the key step to panorama, while existing algorithms focus on scenes with the same illumination. This paper presents a novel method for image mosaics with notable illumination difference. First, feature points are extracted by ring projection, which overpass the local area limitation in tradition methods and gains exactly matching result for image under vary illumination conditions. Then mean and covariance are used to adjust the global brightness of the images to solve the problem of different illumination. While blending factors are gained using the energy function that contains image gradient, which conquers the blur and mackle problems in the overlap area if using the tradition linear weight function. Experiment results show that we can gain satisfying visual effect using this method in image mosaics with notable illumination difference.

Keywords image based rendering, image mosaic, ring projection, image blending, vary illumination

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领域得到了广泛应用。获取全景图的方法包括:(1)利用广角镜头和扫描相机获得^[1],但得到360°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,而图像拼接质量则决定了全景图的视觉效果。

传统的图像匹配算法一般是基于两重叠图像的像素相关性,其包括基于面积和基于特征的方法^[2,3]。基于面积的方法是直接利用图像的像素值,该方法首先在原图像中选取一定区域作为模板,然后在目标图像区域中对模板进行水平和垂直方向平移,再分别通过计算对应像素点的差值来得到相关函数值,其最大相关函数值所对应的偏移量即为最佳匹配。然而由于受耗时局限性影响,基于面积的图像对准算法实用性不强。基于特征的方法则通过像素值导出的特征进行匹配,不仅匹配结果相对稳定,并且该方法是通过特征属性的直接比

基金项目:高等学校博士点专项基金项目(20020288024)

收稿日期:2005-08-22;改回日期:2006-02-20

第一作者简介:肖甫(1980-),男,博士,讲师。主要研究方向为虚拟现实、图形图像理论等。E-mail: fuyxiao@126.com

较来实现,运算速度优于基于面积的方法。目前,常用的特征包括特征点和特征线段。其中特征点一般指边缘点、角点、拐点等,其主要选取依据图像灰度变化大小;而特征线段的方法则在图像间隔一定距离的两列上选取对应的部分像素线段,先计算它们的差值作为特征模板,然后在第 2 幅图像中搜索最佳匹配。通常全景图拼接操作中,对于图像配准处理,均假设待拼接的图像拍摄时光照条件没有变化^[4]。但是这个假设并不总是成立,当光照条件变化或者获取照片过程中相机曝光不均时,采用基于特征的拼接算法可能会出现较大误差,进而影响最终全景图像质量。因而,亟待研究光照条件变化下的图像拼接算法。此外,拼接后图像获得流畅视觉效果另外一个关键因素是图像融合。传统融合方法采取线性函数对图像重叠区域进行加权处理,可能导致重叠区域产生重影、模糊等现象。针对此问题,Su Ming-shing 提出了一种在小波域中融合图像的方法^[5],其是先利用小波分解把待拼接图像分成不同层上的子图像,然后对子图像分别拼接融合,最后叠加得到拼接图像。而在融合处理中,则针对整个拼接图像区域通过引入能量函数来计算图像的切割因子和融合因子。但由于受光照变化的影响,因此包含图像像素值的能量函数,并不能保证求出的融合因子最佳,并且该函数包含两个变量,求解相对复杂。

本文针对柱面全景图提出了一种新的基于特征的拼接方法。该方法所使用的特征序列由图像匹配模板通过圆环投影得到,该方法不仅克服了以往图像特征提取方法中的区域局限问题,还可以很好地适合光照不同的图像匹配;针对左右拼接图像光照变化情况,本文对待拼接图像进行简单处理,即采用统计参数——均值、方差对原始图像进行预处理,使得待拼接图像整体光照基本一致;而在随后的图像融合处理中,则对重叠区域引入一个包含图像梯度的能量函数,并通过最小化该函数来得到重叠区域的全局最优融合因子。

2 柱面全景图的生成

柱面全景图以其构造简单和蕴涵场景信息丰富而得到广泛使用。通常使用普通相机或者数码相机来采集原始图像序列,其采集方法为:将相机固定在水平三角架上,绕转轴旋转 360°连续拍摄图像序列,并且保证两两相邻图像之间存在一定重叠区域。

由于原始图像采集过程中保持相机固定,因而图像之间只存在平移关系。相机采集到的 360°的原始图像序列是相机在不同朝向拍摄得到的,由于其不满足同一投影平面的约束要求,因而不符合视觉的一致性。为保持实际景物的空间约束性关系,必须将得到的反映各自投影平面的图像映射到一个标准投影——柱面投影后才能进行拼接^[6]。

在将图像投影到柱面空间之前,必须先知道相机的焦距,文献[7]给出了在相机围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焦距的算法。将图像平面中像素点 (x, y) 投影到圆柱面点 (\hat{x}, \hat{y}) 的公式为^[8]

$$\begin{aligned}\hat{x} &= f \cdot \arctg\left[\frac{x - \frac{W}{2}}{f}\right] + f \cdot \arctg\left(\frac{W}{2f}\right) \\ \hat{y} &= \frac{f\left(y - \frac{H}{2}\right)}{\sqrt{\left(x - \frac{W}{2}\right)^2 + f^2}} + \frac{H}{2}\end{aligned}\quad (1)$$

其中, W 和 H 分别对应图像的宽度和高度(单元 pixels), f 为照相机的焦距。

3 基于特征的图像拼接

Ring 投影^[9,10]是一种有效的降维方法,由于该投影操作是在圆环模式上进行,且具有旋转无关的特性,因此在字符识别处理领域得到广泛的应用,并对字符目标倾斜、旋转等干扰问题具有较好的鲁棒性。受 Ring 投影在字符识别处理中应用的启发,本文采用类似方法抽取待拼接图像的特征。与传统图像特征选取比较,其主要优点在于:①由于投影在整个圆环上进行,因而克服了以往图像特征提取方法的区域局限问题,尤其适合处理曝光不均的图像;②由于采用圆环投影提取特征,最终特征值为圆环上投影像素点像素值的平均,因而避免了噪声点的干扰;③2 维图像匹配模板转换为 1 维特征序列,由于其特征个数等于圆模板半径长度,因而大大降低了随后匹配搜索的时间复杂度。

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。为减小计算量,可只在图像的可能重叠区域内搜索而不必扩展到整个图像空间。在待拼接左图像 I_L (下角 L 代表 left,下同) 中选定半径为 R pixels 的圆形区域 T_L 为待匹配模板, T_L 和 I_L 的水

平中线一致;待拼接右图像 I_R (下角 R 代表 right,下同) 的初始匹配模板为 T_R, T_R 和 T_L 类似,其水平直径和 I_R 的水平中线一致。 I_R 的搜索区域 S 由 T_R 分别在水平和垂直方向平移一定数量像素得到。

在初始匹配模板区域特征提取之前,首先构造一组以 T_L 的中心 (x_0, y_0) 为圆心的同心圆簇 $C(r)$ (如图 1(a) 所示),则同心圆簇 $C(r)$ 上像素的圆投影为

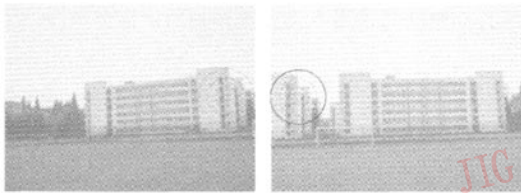
$$P(r) = \int_0^{2\pi} I(r\cos\theta, r\sin\theta) d\theta / (2\pi r) \quad (2)$$

上式描述了连续情况,对于本文所处理的数字图像,构造如图 2 所示的一簇圆盘带 $\{\Omega(k)\}_{k=0,1,\dots,R}$, 即若 $\Omega(k) = \{(x, y) \mid \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} - k \leq 0.5\}$ (3)

则该圆盘带 $\Omega(k)$ 上像素的圆投影定义为

$$p(k) = \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega(k)} I(x,y)}{|\Omega(k)|} \quad (4)$$

其中, $I(x, y)$ 为点 (x, y) 的像素值; $|\Omega(k)|$ 为该圆盘上像素的个数, $k=0, 1, 2, \dots, R$ 。



(a) 待匹配模板 (b) 初始匹配模板

图 1 图像待匹配模板和初始匹配模板 Ring 投影
Fig. 1 Ring projection on image template

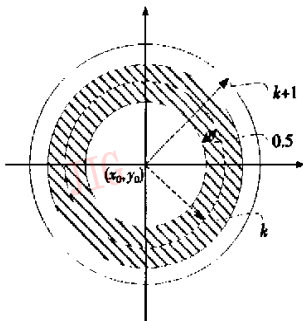


图 2 图像圆投影示意图
Fig. 2 Sketch map for Ring Projection

由此就可把 2 维的图像待匹配模板转换为 1 维的特征序列 $S_L = \{(k, P_L(k)) / k=0, 1, 2, \dots, R\}$ 。右图像 I_R 的初始匹配模板圆投影如图 1(b) 所示,

为了实现图像的最佳匹配,可在搜索区域 S 中对 T_R 分别在水平和垂直方向进行平移,以得到不同偏移量下对应匹配模板集合。与待匹配模板特征序列求取类似,再求出不同偏移量下的匹配模板对应的特征序列集合 $S_{i,j}^R = \{(k, P_{i,j}^R(k)) / k=0, 1, 2, \dots, R\}$, i, j 对应水平、垂直方向偏移量。

定义归一化相关函数为

$$\text{sim}(S_L, S_{i,j}^R) = \frac{\sum_{k=0}^R |(P_L(k) - m_L) \times P_{i,j}^R(k) - m_{i,j}^R|}{\left[\sum_{k=0}^R (P_L(k) - m_L)^2 \right]^{1/2} \times \left[\sum_{k=0}^R (P_{i,j}^R(k) - m_{i,j}^R)^2 \right]^{1/2}} \quad (5)$$

其中, $m_L = \sum_{k=0}^R P_L(k) / (R + 1)$, $m_{i,j}^R = \sum_{k=0}^R P_{i,j}^R(k) / (R + 1)$ 。对不同的 i, j 逐一计算,当 $\text{sim}(S_L, S_{i,j}^R)$ 最大时,特征序列 S_L 和 $S_{i,j}^R$ 相匹配,此时图像的整体水平、垂直偏移量分别为 i, j , 并由此确定图像的重叠区域。

4 图像融合处理

由于光照条件不同,采集的原始图像在亮度上会有较大变化,因此直接拼接会在图像的重叠区域产生亮度的跳变,给人不真实的感觉。为了在最终拼接的图像中得到流畅的效果,必须对其进行预处理。均值、方差是颜色传输^[11]中常用的两个统计参数,可使用这两个参数对待拼接图像进行调整,将一幅图像的统计特征赋给待拼接的另外一幅,最终使二者整体亮度一致。设待拼接左右图像的重叠区域分别为 A_L, A_R 。若选定左图像 I_L 为参考图像,则可将 I_L 的统计特征赋给右图像 I_R 。具体处理过程为:

(1) 设重叠区 A_R 的像素均值为 \bar{M}_2 , 对其所有像素点去掉均值,即

$$\hat{M}_2 = M_2 - \bar{M}_2 \quad (6)$$

(2) 使用 A_L, A_R 的方差 σ_1, σ_2 以及 A_L 的均值 \bar{M}_1 对步骤(1)后的图像进行处理,得

$$\hat{M}_2 = \hat{M}_2(\sigma_1/\sigma_2) + \bar{M}_1 \quad (7)$$

(3) 使用上步处理后图像的均值 \bar{M} 与原始图像块 A_R 的均值 \bar{M}_2 对 I_R 中所有像素进行处理,即

$$M = M + (\bar{M} - \bar{M}_2) \quad (8)$$

其中, M 分别对应图像的 RGB 通道。

进行上述操作以后,即可使待拼接图像整体光

照整体保持一致。而对于重叠区域的待拼接图像点,虽然它们在位置上相对应,但由于其像素值并不完全相同,因此,还需要对图像重叠区域进行融合处理。传统融合方法一般采用线性加权函数,拼接图像的像素值由待拼接图像对应点的像素值加权决定,即

$$I(x,y) = \omega(x,y)I_L(x,y) + (1-\omega(x,y))I_R(x,y) \quad (9)$$

其中, $\omega(x,y)$ 为加权函数,其取值与该点到拼接中线的距离线性相关^[12],由于其一般不能达到重叠区域的全局最优,因而使用此方法进行融合,所得的拼接图像虽然能消除明显的拼接边界,但图像重叠区域仍会出现部分重影、模糊等现象。

重叠区域的融合图像质量很大程度上决定了最终拼接图的视觉效果,一般由融合后像素值与待拼接图像对应点的像素值之差描述。对于光照变化的待拼接图像,重叠区域的像素值差并不能如实反映最终图像的融合效果。而图像像素值梯度则不受光照变化的影响,因而可先构造一个包含图像梯度的能量函数,再通过最小化该能量函数来计算重叠区域图像的全局最优融合因子,即

$$\omega^{best} = \arg \min_{\omega} \left\{ E(\omega) = \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \left[\left[\frac{\partial \omega}{\partial y} (I_R - I_L) \right]^2 \right] dy \right\} \quad (10)$$

由变分原理知,最优解 ω^{best} 应满足 Euler 方程:

$$2 \left(\frac{\partial}{\partial y} I_L - \frac{\partial}{\partial y} I_R \right) \frac{\partial}{\partial y} \omega + (I_L - I_R) \frac{\partial^2}{\partial y^2} \omega = 0 \quad (11)$$

其边界条件为

$$\omega|_{y=-\varepsilon} = 1.0 \quad \omega|_{y=0} = 0.5 \quad \omega|_{y=\varepsilon} = 0$$

在拼接线上 y 坐标为 0, 设 $[0, T] \times [-\varepsilon, \varepsilon]$ 为图像的重叠区域,则分别对 x 方向和 y 方向进行 N 等分的均匀分割,即 $x = i\Delta x, y = j\Delta y - \varepsilon, t = n\Delta t$, 空间步长 $\Delta x = T/N, \Delta y = 2\varepsilon/N$, 时间步长 Δt 取 1, 且记: $I(i, j) = I(i\Delta x, j\Delta y - \varepsilon), \omega(i, j) = \omega(i\Delta x, j\Delta y - \varepsilon)$, 建立了式(11)以下的差分格式:

$$\begin{aligned} \omega^{(n)}(i, j) = & \left[(I_L(i, j) - I_R(i, j)) + (I_L(i, j+1) - \right. \\ & I_L(i, j-1) + I_R(i, j-1) - I_R(i, j+1))/2 \times \\ & \omega^{(n-1)}(i, j+1) + ((I_L(i, j) - I_R(i, j)) - \\ & (I_L(i, j+1) - I_R(i, j-1) + I_R(i, j-1) - \\ & I_R(i, j+1))/2) \omega^{(n-1)}(i, j-1) \left. \right] / [2 \times \\ & (I_L(i, j) - I_R(i, j))] \end{aligned}$$

初值边界条件离散为

$$\begin{cases} \omega^{(0)}(i, 0) = \omega^{(n)}(i, 0) = 1 \\ \omega^{(0)}(i, N/2) = \omega^{(n)}(i, N/2) = 0.5 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \omega^{(0)}(i, N/2) = \omega^{(n)}(i, N/2) = 0.5 \\ \omega^{(0)}(i, N) = \omega^{(n)}(i, N) = 0 \end{cases}$$

解出融合因子(即权函数) $\omega(x,y)$ 。最后拼接的图像为

$$I(x,y) = \begin{cases} I_L(x,y) & y < -\varepsilon \\ \omega(x,y)I_L(x,y) + (1-\omega(x,y))I_R(x,y) & y \in [-\varepsilon, \varepsilon] \\ I_R(x,y) & y > \varepsilon \end{cases}$$

5 实验结果

图 3 给出了传统线性融合因子和本文采用能量函数优化求取的全局最优融合因子比较的截面图。图 4 显示了在不同环境光照条件下拍摄的两幅图像,由该图可见,图 4(a)比图 4(b)要暗一些。图 5(a)为直接拼接得到的结果图像,其中存在明显的光照不一致问题,给人不真实的感觉;通过统计变量特征传递和图像融合处理,最终得到的拼接图像如图 5(b)所示,很好地消除了图像中的光照差问题。图 6 是对另外一组图片采用本文算法得到的拼接全景图。

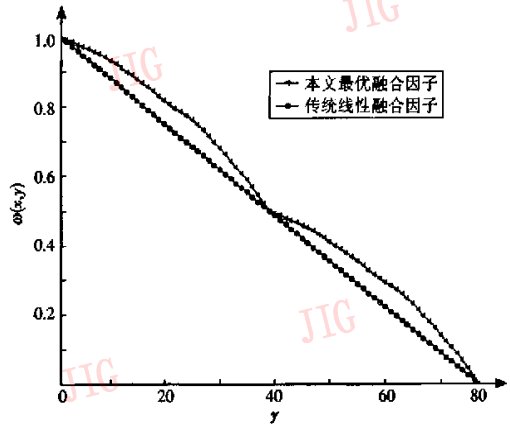
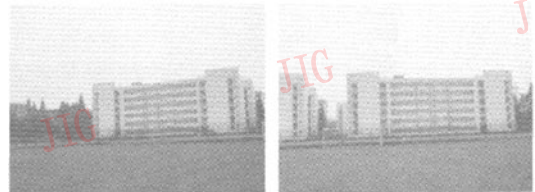


图 3 线性融合因子和全局最优融合因子比较截面图
Fig. 3 Linear blending factor and optimization factor



(a) 左图像 (b) 右图像

图 4 待拼接的原始图像

Fig. 4 Original image



(a) 直接拼接结果



(b) 用本文方法拼接的结果

图5 拼接后的校园操场图像

Fig.5 Mosaic playground image



图6 拼接全景图(横向做了41%的压缩)

Fig.6 Panorama(41% compressed in horizon direction)

6 结 论

实验表明,本文算法能获得效果较好的拼接图像。由于在提取图像特征序列时,采用圆投影很好地克服了传统图像特征提取方法中的区域局限性问题,尤其适合光照不均的图像;由于采用统计变量对待拼接图像进行预处理,从而保证了二者整体亮度的一致性;而对于图像重叠区域,由于其融合因子由包含图像梯度的能量函数通过优化计算求得,从而克服了传统图像融合中线性融合处理的非最优性和重叠区域中可能出现的模糊、重影问题。这三者保证了算法的鲁棒性。

参考文献 (References)

- 1 Hartley R, Gupta R. Linear push broom-cameras [A]. In: Proceedings of the 3rd International European Conference on Computer Vision[C], Stockholm, Sweden, 1994: 555 ~ 566.
- 2 Brown L G. A survey of image registration techniques [J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325 ~ 376.
- 3 Szeliaki 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.
- 4 Cheng Bin, Zheng Nan-ning. Ambient light independent panorama mosaic[J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(2): 135 ~ 139. [程兵, 郑南宁. 对环境光照鲁棒的全景图拼接[J]. 中国图

象图形学报, 2003, 8(2): 135 ~ 139.]

- 5 Su Ming-shing, Hwang Wen-liang, Cheng Kuo-yong. Analysis on multiresolution mosaic images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(7): 952 ~ 959.
- 6 Feng Jin-bo, Su Zhi-xun, Liu Xiu-ping. An similar-curve based automatic mosaic algorithm of panoramic image[J]. Chinese Journal of Computer, 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.]
- 7 Jang Kyun Ho, Jung Soon Ki. Constructing cylindrical panoramic image using equidistant matching [J]. IEE Electronics Letters, 1999, 35(20): 1715 ~ 1716.
- 8 Zhang Mao-jun. Virtual Reality System[M]. Beijing: Science Press, 2001: 126 ~ 127. [张茂军. 虚拟现实系统[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 126 ~ 127.]
- 9 Tang Y Y, Liu J M, Li B F, et al. Multiresolution analysis in extraction of reference lines from documents with gray level background[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(8): 921 ~ 926.
- 10 Tang Y Y, Cheng H D, Suen C Y. Transformation-ring projection (TRP) algorithm and its VLSI implementation [J]. Interrelation Pattern Recognition Artificial Intelligence, 1991, 5(12): 25 ~ 56.
- 11 Reinhar Erik, Ashikhmin Michael, Bruce Gooch, et al. Color transfer between images [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(5): 34 ~ 41.
- 12 Zhao Xiang-yang, Du Li-min. An automatic and robust image mosaic algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(4): 417 ~ 422. [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.]