基于仿射光流场的视频图像镶嵌技术

吴 强, 朱庆保, 沈玲玲

(南京师范大学 数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 为获取宽视场的场景图像, 提出了一种利用仿射光流场进行视频图像镶嵌的方法, 首先根据光流约束方程, 建立了关于图像间仿射变换参数的目标函数, 然后通过最小化目标函数计算出图像间的仿射变换参数, 再根据计算出来的仿射变换参数实现图像的配准, 最后通过图像融合获取无缝镶嵌场景图像. 实验表明, 该方法可以有效地避免误拼接, 可以获得较好的镶嵌结果.

[关键词] 视频图像镶嵌, 仿射光流, 图像配准

[中图分类号] TP391.41 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2007)04-0072-04

Video Mosaicing Based on Affine Optical Flow Field

Wu Qiang, Zhu Qingbao, Sheng Lingling

(School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract To obtain a scene image of wide view, a video mosaicing method based on affine optical flow field is put forward. The object function on the affine transform parameters between video frames is built according to optical constraint equation. Then the affine transform parameters are calculated by minimizing the object function. According to the calculated affine transform parameters, registering images are realized. Image blending is put up to implement video mosaicing with these affine transform parameters. Experimental results using video sequence with real scene have demonstrated that the method can effectively avoid inaccurate mosaicing and obtain better mosaicing image.

Key words video mosaicing, affine optical flow field, image registering

0 引言

视频图像镶嵌是一种将从真实世界获取的视频通过图像配准和融合获取一幅宽视场的全维场景图像(Panorama)的技术, 它提供了一种有效的场景表示方法, 使人们能更加客观形象地认识和理解真实世界. 近年来, 图像镶嵌技术广泛应用于环境监测、机器人导航、虚拟场景的构建、视频压缩、视频检索与浏览等领域[1, 2].

图像镶嵌的关键问题是如何实现图像的配准, 其实质就是寻找图像之间的变换模型参数. 目前, 图像配准的方法大致可以分为两类: 基于图像特征[3, 4]和基于图像灰度的方法[5, 6]. 基于图像特征的方法首先要提取出满足特定应用要求的特征, 然后利用特征之间的对应关系确定图像之间的变换参数模型, 该方法的困难在于如何提取和选择鲁棒的特征进行匹配. 而基于图像灰度的方法则不需要提取相应的特征, 可以直接通过求解某类目标函数的优化问题计算出图像间的变换模型参数, 这种方法不依赖于图像的特征, 所以不会出现基于图像特征的方法中所要注意的问题. 这一方法的关键是如何选择或设计合适的目标函数和优化算法. 为此, 本文提出了一种基于仿射光流场的视频图像镶嵌方法, 根据光流约束方程, 建立了关于图像间仿射变换参数的目标函数, 通过最小化目标函数计算出图像间的仿射变换参数实现图像的配准.

1 图像间仿射变换模型

确定同一场景的图像之间的变换模型, 是图像配准过程中的一个关键步骤. 在摄像机只存在平移、旋

收稿日期: 2007-04-19.
基金项目: 江苏省自然科学基金(kb2006218)资助项目.
作者简介: 吴 强(1970-), 讲师, 主要从事图像处理和智能控制等方面的教学与研究. E-mail: wuqiang@njnu.edu.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

转和镜头缩放的情况下, 图像间的变换模型可采用仿射变换模型. 设某帧视频图像的某一像素的坐标为 $\boldsymbol{X} = [x, y]$, 该像素点在另一帧图像中的对应坐标为 $\hat{\boldsymbol{X}} = [\hat{x}, \hat{y}]$, 则 $\boldsymbol{X}, \hat{\boldsymbol{X}}$ 间的对应关系为:

$$\hat{\boldsymbol{X}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{X} + \boldsymbol{b}. \tag{1}$$

其中, $\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix}$, $\boldsymbol{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$, a_i, b_j ($i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, 2$) 为仿射变换参数.

2　光流场的计算

根据拍摄的场景为连续平滑的平面图像这一假设, 在相邻图像之间的光流可以通过它们之间的相对位移来描述. 假定 $t + \Delta t$ 时刻图像中的每个像素点是 t 时刻的图像中的对应点 (x, y) 经过平移得到的, Δt 为非常小的时间间隔, Δx、Δy 为像素点在时间间隔 Δt 内的水平方向和垂直方向的微小位移量, 则有如下光流方程:

$$E(x, y, t) = E(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t), \quad \forall (x, t) \tag{2}$$

式中, $E(x, y, t)$ 为像素点 (x, y) 在时刻 t 时的灰度值. 该方程说明在很短的时间间隔内, 可以认为图像像素点的灰度值保持不变. 如果图像的灰度随着 x, y, t 光滑变化, 则可将式 (2) 等号右端用泰勒级数展开得到:

$$E(x, y, t) = E(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) = E(x, y, t) + \Delta x \frac{\partial E}{\partial x} + \Delta y \frac{\partial E}{\partial y} + \Delta t \frac{\partial E}{\partial t} + h.o.t \tag{3}$$

其中, $h.o.t$ 表示关于 $\Delta x, \Delta t$ 的高阶项.

将式 (3) 两端的 $E(x, y, t)$ 相互抵消, 对两端同时除以 Δt, 并进行整理得:

$$u_f E_x + v_f E_y + E_t + h.o.t = 0 \tag{4}$$

式中, $u_f = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, $v_f = \frac{\Delta y}{\Delta t}$, 分别表示图像中各像素的光流沿着 x 和 y 方向上的分量, E_x, E_y 分别表示图像灰度沿着水平和垂直方向的空间梯度, E_t 表示图像的关于时间的梯度. 忽略式 (4) 中高阶项, 则可得到如下的二维光流约束方程[7]:

$$u_f E_x + v_f E_y + E_t \approx 0 \tag{5}$$

3　仿射变换参数的计算

对于二维仿射变换, 根据式 (1) 有:

$$\begin{cases} \hat{x} = a_1 x + a_2 y + b_1, \\ \hat{y} = a_3 x + a_4 y + b_2. \end{cases} \tag{6}$$

根据式 (6) 可以计算出图像中每点像素的水平和垂直方向上的速度分量如式 (7) 所示 (规格化 $\Delta t = 1$):

$$\begin{cases} u = \hat{x} - x = (a_1 - 1)x + a_2 y + b_1, \\ v = \hat{y} - y = a_3 x + (a_4 - 1)y + b_2. \end{cases} \tag{7}$$

式中, u、v 表示通过仿射变换模型计算出来的图像中像素点的速度. 根据式 (5)、式 (7) 可建立如式 (8) 所示的目标函数:

$$\varepsilon_{\text{flow}} = \sum_x (uE_x + vE_y + E_t)^2. \tag{8}$$

通过最小化上述目标函数求取图像之间的坐标变换参数, 整理可得式 (9):

$$\begin{bmatrix} \sum x^2 E_x^2 & \sum xyE_x^2 & \sum xE_x^2 & \sum x^2 E_x E_y & \sum xyE_x E_y & \sum xE_x E_y \\ \sum xyE_x^2 & \sum y^2 E_x^2 & \sum yE_x^2 & \sum xyE_x E_y & \sum y^2 E_x E_y & \sum yE_x E_y \\ \sum xE_x^2 & \sum yE_x^2 & \sum E_x^2 & \sum xE_x E_y & \sum yE_x E_y & \sum E_x E_y \\ \sum x^2 E_x E_y & \sum xyE_x E_y & \sum xE_x E_y & \sum x^2 E_y^2 & \sum xyE_y^2 & \sum xE_y^2 \\ \sum xyE_x E_y & \sum y^2 E_x E_y & \sum yE_x E_y & \sum xyE_y^2 & \sum y^2 E_y^2 & \sum yE_y^2 \\ \sum xE_x E_y & \sum yE_x E_y & \sum E_x E_y & \sum xE_y^2 & \sum yE_y^2 & \sum E_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 - 1 \\ a_2 \\ b_1 \\ a_3 \\ a_4 - 1 \\ b_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum xE_x E_t \\ \sum yE_x E_t \\ \sum E_x E_t \\ \sum xE_y E_t \\ \sum yE_y E_t \\ \sum E_y E_t \end{bmatrix} \tag{9}$$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由于光流场方法假定图像是平滑的,而实际图像往往不满足这一条件,为此,本文采用了图像金字塔来实现由粗到精的算法框架.首先由高斯金字塔将图像分解成不同的分辨率层,然后,在低分辨率层将计算的变换模型参数映射到下一高分辨率层,作为下一高分辨率层变换模型参数的初始值,逐层迭代计算.具体算法如下:

(1)分别构造参考图像和当前图像的 Gaussian金字塔;

(2)初始化仿射变换参数 $a_i(i=1,2,3,4)$ 和 $b_j(j=1,2)$;

(3)按从"粗"到"精"的顺序,执行以下步骤:

(a)计算当前图像仿射变换后的图像;

(b)计算参考图像和变换后图像的空间梯度 E_x、E_y 和时间梯度 E_t;

(c)根据式(9)计算仿射变换参数 $a_i(i=1,2,3,4)$ 和 $b_j(j=1,2)$;

(d)更新仿射变换参数;

(e)重复(a),直到变换后的图像与参考图误差小于给定阈值或迭代到最大次数.

4　图像的融合

根据计算出的图像间坐标变换参数可以进行图像的镶嵌.若将图像重叠区域的像素值直接叠加再平均,由于图像的边缘和图像间可能存在的亮度差会造成镶嵌的结果中出现明显的镶嵌痕迹.为了实现图像内容的平滑过渡,减轻图像间的镶嵌痕迹,采用了加权平均法,将相邻图像重叠区域的像素值按一定的权值相加合成新的图像,重叠图像区域的像素值按式(10)计算:

$$E(x,y)=\frac{\sum_i w_i(x,y)E_i(x,y)}{\sum_i w_i(x,y)}. \tag{10}$$

式中,$w_i(x,y)=\left(1-\left|\frac{x-\frac{W}{2}}{\frac{W}{2}}\right|\right)\left(1-\left|\frac{y-\frac{H}{2}}{\frac{H}{2}}\right|\right)$,$W$ 为第 i幅图像的宽度,H 为为第 i幅图像的高度.

5　实验结果

利用本文提出的基于仿射光流场的视频图象镶嵌算法,拍摄了一段实景视频进行镶嵌.该段视频共包含 64帧图像,为了提高计算效率,在进行计算时,每隔 1帧提取一帧图像构成图像序列,如图 1所示.所构成的图像序列中各图像的光照依次减弱,且场景中包含有大量的重复性内容(如大面积的树木、湖泊、天空背景等).图 2给出了视频图像序列的镶嵌结果,该结果以视频图像序列的第 1帧为参考图像.

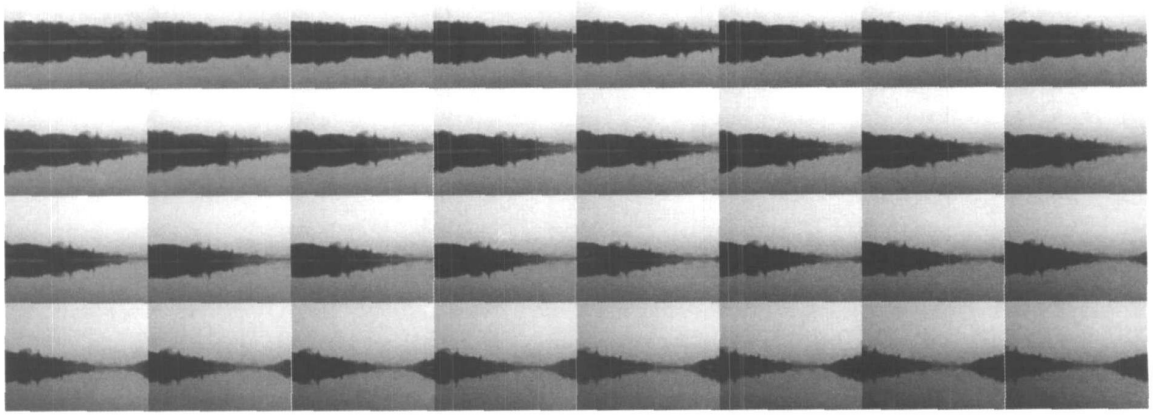

图 1　视频图像序列(共 32 帧)

Fig.1　Video sequence for mosaicing (total 32 frames)

以上实验结果表明,本文提出的基于仿射光流场的视频图像镶嵌算法具有较高的鲁棒性,即使在拍摄

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的图像序列中存在光照变化以及场景中包含大量的重复性内容的情况下, 也能有效地避免误拼接, 获得了比较满意的镶嵌图像, 而采用常用的基于灰度的块匹配方法往往得不到正确的镶嵌结果.

图 2　视频图像镶嵌结果

Fig.2　The result of video mosaicing

6　结语

本文提出了一种基于仿射光流场的视频图像镶嵌方法, 根据光流约束方程, 建立了关于图像间仿射变换参数的目标函数, 通过最小化目标函数计算出图像间的仿射变换参数实现图像的配准. 该算法无需提取图像的特征, 实验表明该算法可以有效地避免误拼接, 可以获得较好的镶嵌结果. 由于文中的方法仅考虑了摄像机在平移、旋转和镜头缩放的情形下视频图像的镶嵌, 而在实际拍摄过程中摄像机往往存在更复杂的运动, 因此对上述情形下拍摄的视频图像进行拼接, 尚需作进一步的研究.

[参考文献] (References)

[1] Irani M, Anandan P, Bergen J, et al. Efficient representations of video sequences and their applications[J]. Signal Processing: Image Communication, 1996 (8): 327-351.

[2] 阮宗才, 梁栋, 吴福朝, 等. 一种自动全景拼图的快速算法 [J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(5): 536-539.
Ruan Zongcai, Liang Dong, Wu Fuchao, et al. A fast algorithm for automated panoramic mosaicing [J]. Journal of Computer Research & Development, 2001, 38(5): 536-539. (in Chinese)

[3] Hsu Chiouting, Cheng Tzuhung, Beuker, et al. Feature based video mosaic [C] // Proceedings of International Conference on Image Processing, Canada: Vancouver, BC, 2000(2): 887-890.

[4] Venkateswar, Chellappa R. Hierarchical stereo and motion correspondence using feature groupings[J]. International Journal of Computer Vision, 1995, 15: 245-269.

[5] Szeliski R. Video mosaics for virtual environments[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1996, 16(2): 22-30.

[6] Yihong G, Guido P, David L. A robust image mosaicing technique capable of creating integrated panoramas[C] // Proceedings of IEEE International Conference on Information Visualization. CA, USA: Los Alamitos, 1999: 24-29.

[7] 郑南宁. 计算机视觉与模式识别 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
Zheng Nanning. Computer Vision and Pattern Recognization[M]. Beijing: The National Defence Industry Press, 1998. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net