

基于视频序列的数字图像拼接技术研究进展

余宏生^{1,2}, 金伟其¹

(1. 北京理工大学光电学院, 北京 100081; 2. 黄石理工学院数理学院, 湖北 黄石 435000)

摘要: 基于视频序列的数字图像拼接是指将具有重叠区的多帧视频通过数字配准和融合获得单幅宽视场静态全景图或动态全景图。基于视频序列的数字图像拼接技术主要包括全局快速配准算法、运动目标分割算法和无缝融合算法。首先分析理想数字图像拼接系统的特性, 然后介绍近年来基于视频序列的数字图像拼接技术的研究进展, 最后分析其研究动向。

关键词: 图像拼接; 全局配准; 运动目标分割; 无缝融合; 全景图

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Evolution of research on techniques of digital image mosaics from video sequence

YU Hong-sheng^{1,2}, JIN Wei-qi¹

(1. School of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. School of Mathematics and Physics, Huangshi Institute of Technology, Huangshi 435000, China)

Abstract: Digital image mosaics from video sequence can be defined as image registration and blending of multiple video frames into a single wide field of view image or dynamic panoramic image. The techniques of digital image mosaics from video sequence consist of image global fast registration algorithm, motion object segment algorithm, and seamless blending algorithm. The goals of this paper are as follows: a) analyze the properties of an ideal digital image mosaics system; b) introduce the evolution of research on techniques of digital image mosaics from video sequence in recent years; c) provide its new direction for future research.

Key words: image mosaics; global registration; motion object segment; seamless blending; panoramic image

1 引言

近年来, 基于视频序列的数字图像拼接技术在各种军事和民用领域(如卫星遥感^[1]、海底勘探^[2]、森林火灾监测^[3]、无人机监视和搜索^[4]、医学探查^[5]等)中得到了广泛的应用。

在实际应用场合中, 由于视频图像的特点, 拼接全景图时会产生各种各样的问题。比如: 待拼接的视频序列图像间往往存在平移、缩放、旋转等多种几何变形, 这将影响图像配准的精度; 当摄像机采取2-D扫描方式获取视频序列图像, 特别是扫描路径存在闭合回路时, 图像配准会产生累积误差; 如果场景中存在运动目标, 在拼接的全景图中会形成“鬼影”; 待拼接的视频序列图像间的色度和亮度不一致将形成明显的拼接接缝, 等等。近年来, 针对基于

视频序列的数字图像拼接在实际应用场合中的这些问题, 国内外学者进行了深入的研究。

本文首先通过分析基于视频序列的理想数字图像拼接系统的特性, 归纳出基于视频序列的数字图像拼接的关键技术, 然后分别介绍全局快速配准算法、运动目标分割算法和无缝融合算法的研究进展, 最后分析基于视频序列的数字图像拼接技术研究动向。

2 基于视频序列的理想数字图像拼接系统的特性分析

根据数字图像拼接系统的拼接后图像(输出)

作者简介: 余宏生(1968-), 男, 博士研究生, 研究方向为光电成像与检测技术, 数字图像处理技术。E-mail: yhs99981@sina.com

收稿日期: 2009-06-22

的类型来分类,基于视频序列的图像拼接可以分为基于视频序列的静态图像拼接和基于视频序列的动态图像拼接。

在开发基于视频序列的数字图像拼接系统之前,必须首先明确其基本特性。表1列举了基于视频序列的理想数字图像拼接系统的特性。

表1 基于视频序列的理想数字图像拼接系统的特性

静态/动态图像拼接系统基本特性	
1	自动获取视频序列图像
2	处理压缩或非压缩的视频序列
3	无需人工参与,自动进行图像拼接
4	能够快速自动配准图像,图像配准算法对平移、缩放、旋转等各种失真具有鲁棒性
5	视频采集采用2-D扫描方式或者存在回路时,消除图像配准累积误差
6	消除场景中运动物体引起的“鬼影”
7	处理视频帧间图像亮度和色度的变化,消除由于亮度和色度不一致形成的接缝
动态图像拼接系统特性	
8	实时图像拼接
9	运动目标跟踪或显示运动目标轨迹
10	全景图场景的自动切换
11	动态全景视频图像的生成
静态/动态图像拼接系统特定应用	
12	将全景图拼接到平面、柱面或球面
13	对场景中特定目标进行注释和标记
14	超分辨率图像拼接
15	3-D图像拼接
16	基于GIS/GPS等多源信息的图像拼接

数字图像拼接过程包括视频图像的获取、预处理、图像配准和图像融合等步骤。非实时数字图像拼接系统则是对已经获取的视频图像进行后处理,在实时数字图像拼接系统中要求首先自动获取视频图像然后进行实时拼接,实时图像拼接是动态图像拼接系统的根本特点。

获取的视频图像包括压缩的视频图像和非压缩视频图像。有的方法直接针对压缩视频进行拼接,有的是在图像拼接前,首先解压缩再提取视频帧。

无论采取什么方式,图像自动拼接系统在拼接过程中不需要人工参与,自动完成图像拼接。

全局快速配准算法主要为了消除图像配准的累积误差,消除配准接缝;当图像的数量较多时,在保证配准精度的前提下,要求尽可能提高算法的速度,以满足实时处理的要求。

当场景中存在运动目标时,如果不进行任何处理,直接进行图像拼接,在拼接的全景图中会出现运动目标的模糊阴影(“鬼影”),无法满足视觉感知的要求。运动目标分割算法对场景中的运动目标进行区域分割,然后进行图像拼接,以消除“鬼影”。动态图像拼接系统中运动目标的处理方式可以分为基于目标跟踪的动态图像拼接和基于运动目标轨迹的动态图像拼接。无缝融合算法主要是处理视频帧间图像亮度和色度的变化,消除由于亮度和色度不一致引起的接缝。

动态图像拼接系统除具备静态图像拼接系统的特性外,还具有其本身的特性,如要求实时拼接、能够实现运动目标跟踪或显示运动目标轨迹、全景图场景的自动切换等。表1中“静态/动态图像拼接系统的特定应用”中所列特性是图像拼接系统在某些特定应用场合下的系统功能特点。

基于视频序列的数字图像拼接技术主要包括全局快速配准算法、运动目标分割算法和无缝融合算法。

3 全局快速配准算法

在2-D扫描方式采集的图像或者存在闭合回路的图像序列中,传统的frame-to-frame配准方法导致相邻图像较小的配准误差在拼接过程中累积起来,从而在回路闭合处产生严重的累积误差。多帧图像拼接时存在累积误差是基于视频序列拼接的普遍问题。全局最优快速配准算法的主要目的是为了减小或消除多帧图像拼接时的累积误差。

R. Marzotto等^[6]提出了一种利用视频序列采用仿射变换方法自动构建全景拼接图像的方法,通过全局配准减小了配准累积误差,生成超分辨率全景图像。图1为全局配准前后图像对比图。



(a) 全局配准前

(b) 全局配准后

图1 全局配准前、后图像对比

Dae-Woong Kim 等^[7]提出一种采用有序块匹配的快速全局拼接算法。通过引入像素点特征的非确定性信息,用规则间隔的栅格特征替代角点特征和线结构,采用最短路径搜索(Shortest-path Search, SSPS)算法以有序方式寻找精确的全局匹配。

Li Qi 等^[8]将具有旋转调整的相位相关匹配方法应用于整个图像序列进行全局配准,实现具有平移和旋转变形的图像序列的最优拼接。

D. M. Healy 等^[9]利用信号处理理论中的随机映射方法实现最小二乘法配准的全局优化。该方法特别适合解决大量图像与标准模板配准的问题。

P. F. McLauchlan 等^[10]将摄影测量学的捆绑调整技术应用于全局图像配准,捆绑调整技术常常与其他配准方法结合应用于全局配准。

4 运动目标分割算法

在场景中出现运动目标时,如果不进行相应的处理,拼接后的全景图中会出现运动目标的模糊阴影,俗称“鬼影”,采用运动目标分割算法的主要目的是消除拼接后的全景图中的“鬼影”。

Yujin Zhang 等^[11]采用边沿检测的方法进行运动目标分割。首先对每一帧图像进行边沿检测,然后通过帧间运动矢量的门限处理提取运动目标的边沿,最后将不同图像帧的运动目标的边沿交叠在拼接后的图像上,显示运动目标的运动轨迹。

Michael Höynck 等^[12]提出了一种区域生长的运动目标分割方法。首先采用双向全局运动估计和补偿,探测场景中可能的运动目标区域,然后对视频进行空间分割后,提取运动目标特征,最后在整个图像中进行特征区域生长,完成运动目标的图像分割,如图2所示。



(a) 原始视频帧

(b) 图像分割结果

图2 运动目标图像分割

T. Echigo 等^[13]利用时空联合分割方法将运动目标与背景分离,以消除“鬼影”。拼接后的图像在固定的背景中显示目标运动轨迹的叠印图像。

Demin Wang^[14]提出了一种基于时域跟踪的分

割算法,其实质是时空联合分割方法。该方法首先对视频序列的第一帧图像进行初始空间分割,然后采用时域跟踪方法进行运动目标的分割。时域跟踪分为4个步骤:运动估计、标记提取(作为区域生长的种子点)、改进的分水岭变换和区域融合。采用该算法不仅能够有效地跟踪快速运动的物体,而且能够检测新出现的或消失的目标。

时空联合分割方法是将视频看作像素的时空块,同时考虑时间和空间维。通过事先计算每个像素点的光流,时空方向和位置分别通过两个运动角度和两个运动距离来表示,其运动角度和运动距离是具有像素运动平移不变性的。采用时空联合分割方法既利用了帧间时域上的强相关性信息,又利用了帧内空间上的特征,能够取得较好的分割效果。

5 无缝融合算法

图像的拼接接缝主要包括配准接缝和融合接缝。配准接缝是指由于图像拼接时的配准误差在拼接后的图像中形成的人眼可分辨的未对齐痕迹;融合接缝是指由于待配准图像之间存在色度和亮度不一致,使得在拼接后的图像的不同区域产生人眼视觉感知的明显差异。采用全局配准算法进行全景图拼接可以消除配准接缝,无缝融合算法主要目的是消除融合接缝。

文献[15]介绍了一种在像素域和压缩域的颜色匹配算法,算法首先利用直方图均衡化或基于多项式的对比度拉伸方法补偿待拼接图像间的颜色差异,然后采用线性滤波器消除图像的融合接缝。

Ming-Shing Su^[16]提出了一种基于多分辨率分析的无缝融合算法。首先待拼接图像变换到小波子空间,然后采用由能量最小模型推导的融合函数将图像融合,该算法兼顾了重叠区域边界的流畅过渡和融合图像相对于原始图像的保真度。如图3所示。

文献[17]将待拼接彩色图像从RGB空间变换到 $l\alpha\beta$ 空间,在 $l\alpha\beta$ 空间利用统计分析方法进行色度和亮度的校正,然后再将其从 $l\alpha\beta$ 空间变换到RGB空间。在 $l\alpha\beta$ 彩色空间里, l 表示亮度通道, α 表示黄-蓝色度通道, β 表示红-绿色度通道,由于这个空间使用独立的通道表示亮度和颜色信息,所以能够分别进行色度和亮度校正,避免由于拼接图像之间色度和亮度不同产生接缝。

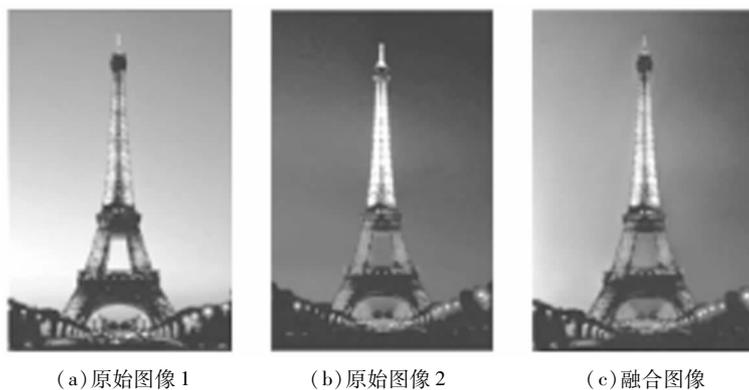


图3 基于多分辨率分析的无缝融合

6 研究动向

6.1 超分辨率图像拼接

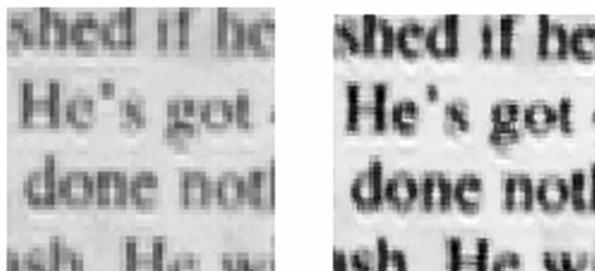
图像拼接和超分辨率图像重建是混合多帧视频图像信息的两种方法,图像拼接是在一幅全景图中显示多帧图像的信息;超分辨率图像重建则是利用出现在多帧图像的重叠图像信息提高分辨率及降低噪声。

超分辨率图像拼接是指在图像拼接过程中应用超分辨率图像重建技术,利用视频序列中低分辨率的图像帧获得高分辨率图像。

A. Zomet 等^[18]提出了一种超分辨率拼接方法。首先利用图像序列帧拼接全景图,然后将图像重叠区对全景图进行配准,利用超分辨率图像重建算法提高全景图分辨率,减小噪声,消除配准接缝。

Xiao Liang 等^[19]根据低分辨率图像退化模型,提出了采用 MAP 估计和变分方法进行超分辨率重建的架构,将超分辨率图像重建问题看成考虑变分能量函数最小时的逆问题,针对局部信息和前后相联信息提出了一种采用偏微分方程的超分辨率图像重建方法。

D. Capel 等^[20]介绍了一种摄像机绕中心旋转的序列图像的超分辨率拼接方法,给出了考虑估计的单应性误差的最大似然估计解,改进了 MAP 估计器,在拼接后的图像区域获得较高分辨率。如图 4 所示。



(a) 低分辨率输入图像 (b) 2倍高分辨率图像

图4 超分辨率图像拼接

6.2 3-D 图像拼接

由于不同视角的图像或者视频序列会提供更多的冗余信息,利用这些信息可以进行 3-D 立体图像拼接,有利于图像的浏览、分析和理解。

文献[21]提出了基于全局协调测量系统的三维表面拼接技术,克服了现有多视点拼接方法无法控制全局误差的缺点,将不同视点的图像拼接成 3-D 立体图像,但是其控制点是事先人为粘贴在被测量的物体上的,这对于多数场合并不适用。

Chon Jaechoon 等^[22]提出了一种适合于新颖的图像拼接算法,用于网站和手机中城市道路边建筑的 3-D 可视浏览。

Akihiko Iketani 等^[23]针对曲面文档的视频提出了一种基于 3-D 重建的视频拼接方法,采用该方法可以利用曲面文档的视频拼接文档的静态图像,重现文档的内容。

6.3 基于 GIS/GPS 的图像拼接

少量图像的拼接具有很高的精度,一般不会产生接缝;但是,拼接成百上千幅大量图像时将导致参数的飘移,产生配准积累误差,采用全局配准算法又无法满足实时性要求。在一些实际应用场合(如无人机监视与搜索),为了实现高精度大范围地理编码的实时图像拼接,可以采用基于地理信息系统和全球定位系统(GIS/GPS)的图像拼接技术。

基于 GIS/GPS 的图像拼接是指利用地理编码的卫星图像作为参考图像并定义一些控制点,或利用 GPS 坐标作为控制点,补偿图像拼接时产生的参数飘移,从而实现高精度大范围地理编码的实时图像拼接。

2002 年,晏磊等^[24]提出无人机遥感平台的关键技术之一是如何有效地将遥感图像数据、GPS 定位数据、辅助导航定位数据等进行融合,生成带有地理坐标和时间信息的遥感图像。

Wu Jun^[3]等采用基于地理信息配准的方法利用无人机拼接动态图像,该方法应用于森林火灾的快速反应。

2006年,德国 EMT(德国航空器制造商、航空设备供应商)开发了 Luna 小型无人机^[4],采用地理编码的卫星图像作为参考图像,生成大视场地理编码拼接图像,如图5所示。



图5 大视场地理编码图像拼接

7 结束语

基于视频序列的数字图像拼接技术在实际中的应用不仅大大方便了人们对视频图像信息的处理、分析和理解,而且在提高图像的分辨率、等效地增大光学系统的视场、虚拟现实和3-D图像重建等方面具有重要的实际应用价值。本文对基于视频序列的理想数字图像拼接系统的特性进行了归纳,并介绍了基于视频序列数字图像拼接的主要关键技术,最后分析其研究动向,为该技术的进一步研究提供参考。

参考文献:

- [1] Laurie Gibson. Automation technology with IKONOS satellite imagery [C] // Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites V, Proceedings of SPIE, 2001, 4540: 650 - 660.
- [2] Kerstin Jeroscha, Michael Schlüter, Roland Pesch. Spatial analysis of marine categorical information using indicator kriging applied to georeferenced video mosaics of the deep-sea Håkon Mosby Mud Volcano [J]. Ecological information, 2006(1): 391 - 406.
- [3] Wu Jun, Zhongkui Dong, Zhigang Liu, et al. Geo-registration and mosaic of UAV video for quick-response to forest fire disaster [C]. Proc. of SPIE, 2007, (6788): 678810.
- [4] N Heinze, M Esswein, W Krüger, et al. Automatic image exploitation system for small UAVs [C]. Airborne Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (ISR) Systems and Applications V. Proc. of SPIE., 2008, (6946): 69460G1 - 10.
- [5] K Loewke, D Camarillo, W Piyawattanametha, et al. Real-time image mosaicing with a hand-held dual-axes confocal microscope [C] // Progress in Biomedical Optics and Imaging. Proc. of SPIE, 2008, (6851): 68510F1 - 9.
- [6] R Marzotto, A Fusiello, V Murino. High resolution video mosaicing with global alignment [C] // Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004, (1): 692 - 698.
- [7] Dae-Woong Kim, Ki-Sang Hong. Real-time mosaic using sequential graph [J]. Journal of Electronic Imaging, 2006, 15(2): 023005 - 1.
- [8] Li Qi, Ji Zhen, Zhang Jihong. Image panoramic mosaicing with global and local registration [C] // Image Matching and Analysis, Proceedings of SPIE, 2001, (4552): 51 - 56.
- [9] D M Healy, G K Rohde. Fast global image registration using random projections [C] // Biomedical Imaging, 4th IEEE International Symposium, 2007, (4): 476 - 479.
- [10] P F McLauchlan, A Jaenicke. Image mosaicing using sequential bundle adjustment [J]. Image and Vision Computing, 2002, (20): 751 - 759.
- [11] Yujin Zhang, Tianli Yu. Combining video mosaic and edge overlap techniques for condensing information in a video clip to a single frame [J]. Proc. SPIE, 2002, (4875): 806.
- [12] Michael Höynck, Michael Unger, Jens-Rainer Ohm. A novel approach to object detection in video using region-based motion diffusion [C] // Internet Multimedia Management Systems V, Proceedings of SPIE, 2004, (5601): 276 - 287.
- [13] T Echigo, R Radke, P Ramadge, et al. Ghost error elimination and superimposition of moving objects in video mosaicing [C] // Image Processing, ICIP 99. Proceedings, 1999 International Conference, 1999, (4): 128 - 132.
- [14] Demin Wang. Unsupervised video segmentation based on watersheds and temporal tracking [C] // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, (8): 539 - 546.
- [15] Ming-Sui Lee, Meiyin Shen, Chung-Chieh Jay Kuo. Pixel- and compressed-domain color matching techniques for video mosaic applications [C]. Proc. SPIE, 2004, (5308): 799 - 807.
- [16] Ming-Shing Su, Wen-Liang Hwang, Kuo-Young Cheng. Analysis on multiresolution mosaic images [C]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, (13): 952 - 959.

- [17] Yili Zhao, Dan Xu, Zhigeng Pan. Image mosaic with color and brightness correction [C]//Fourth International Conference on Virtual Reality and Its Applications in Industry, Proceedings of SPIE, 2004, (5444): 100 - 105.
- [18] A Zomet, S Peleg. Applying super-resolution to panoramic mosaics [C]//Proceedings Fourth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 1998, 286 - 287.
- [19] Xiao Liang, Wei Zhihui. A super-resolution reconstruction via local and contextual information driven partial differential equations [C]// Proceedings - Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007, (4): 726 - 730.
- [20] D Capel, A Zisserman. Automated mosaicing with super-resolution zoom [C]//Proceedings 1998 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1998: 885 - 891.
- [21] Ren tong-qun, Zhu ji-gui, Ye sheng-hua. Studies on 3D image mosaic technology of binocular stereo vision measuring system [C]//Advanced Laser Technologies, Proc. of SPIE, 2006, (6344): 63442V - 1.
- [22] Chon Jaechoon, T Fuse, E Shimizu, et al. Three-dimensional image mosaicking using multiple projection planes for 3 - D visualization of roadside standing buildings [J]. Systems, Man, and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions, 2007, (37): 771 - 783.
- [23] Akihiko Iketani, Masayuki Kanbara, Tomokazu Sato, et al. Video mosaicing for curved documents based on structure from motion [C]//The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06). 2006, (4): 391 - 396.
- [24] 晏磊, 吕书强, 赵红颖, 等. 无人机航空遥感系统关键技术研究 [J]. 武汉大学学报: 工学版, 2004, 37(6): 67 - 69.

现代科技 光电信息 内容丰富 开卷有益

敬请订阅《激光与红外》杂志(月刊)

《激光与红外》杂志是中国光学光电子行业协会、电子工业激光与红外专业情报网、中国电子学会量子电子学与光电子学分会的联合刊物,国内外公开发行人。报道以激光与红外为重点的光电子技术及应用领域的科技进展、新技术成果等。主要栏目有:综述与评论、激光技术、红外技术、光电材料器件、光学元件与材料、光纤技术、图像与信号处理、市场动态、企业介绍、行业概况等。是国内本专业创刊最早的刊物之一。本刊为中国科技论文统计源期刊、中文核心期刊,并被“中国期刊网”、“中国科技期刊(光盘版)”、“万方数字化科技期刊群”、“中文科技期刊数据库”和美国 CA、中国台湾华艺等数据库全文收录。

本刊为月刊,大 16 开本,2010 年每期定价 16 元,全年定价 192 元。

订阅办法:可在全国各地邮局订阅,邮发代号 2 - 312。也可直接向本刊编辑部订阅。汇款方式:开户行:中国工商银行北京市望京支行营业部,帐号:0200003509089113201,户名:《激光与红外》杂志社;邮局汇款请寄:北京 8511 信箱,激光与红外杂志社收,邮编:100015。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

地址:北京市 8511 信箱《激光与红外》杂志社(100015) 电话:010 - 84321112 传真:010 - 64387667
http://www.laser-infrared.com E-mail:paper@laser-infrared.com jgyhw@ncrileo.com.cn