

文章编号:1672-058X(2012)12-0060-06

全景图像拼接技术研究现状综述*

江 铁¹,朱桂斌²,孙 奥¹

(1. 重庆通信学院 应急通信重庆市重点实验室,重庆 400035;2. 重庆通信学院 信息技术教研室,重庆 400035)

摘 要:图像拼接技术作为合成全景图像的工具得到较快发展;图像拼接技术就是把若干幅有重叠部分的图像合成一幅大视角宽幅面的图像;主要对图像拼接技术的应用、国内外发展现状以及面临的问题进行了较为详细的介绍;最后对图像拼接技术的未来研究做了展望,提出了一些改进的思路,为进一步深入研究图像拼接技术提供参考。

关键词:图像处理;图像融合;全景图;图像配准;图像拼接

中图分类号:TP 393

文献标志码:A

0 引 言

近年来,随着计算机技术的快速发展,图像融合^[1]技术发展越来越广泛和深入,对具有较大视域全景图像的需求也越来越迫切。全景图像拼接^[2](image mosaic)作为新兴技术,短短几年得到了快速发展,受到研究者越来越多的关注。目前全景图像已经成为计算机仿真^[3]、计算机视觉模拟^[4]、图像处理和计算机特效以及虚拟现实^[5]研究中的热点和关键技术,在地质勘测、军事侦查、医学微创手术、航空航天以及视频会议等多个领域发挥着重要作用。

所谓全景是指图像有比较宽的视域(FOV, Wide Field of View);所谓拼接是指把多个单一图像融合成一幅图像。具体地说,全景拼接是使用多个摄像机对同一个场景在不同角度拍摄,把得到的多个图像进行校正、去噪、匹配、融合,最终构建成一个质量高、清晰、边缘平滑、分辨率高的图像。图像拼接主要有 4 个步骤:图像的几何校正、图像预处理、图像配准和图像融合,如图 1 所示。其中,图像配准和图像融合是图像拼接成功的关键。

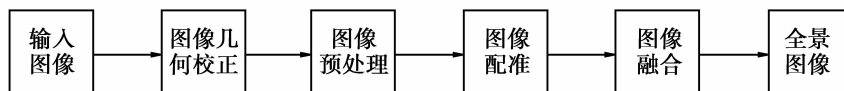


图 1 图像拼接流程

1 图像拼接技术的应用

在实际的科研和工程中,当遇到超过人眼视角的场景时,在近距离内无法用照相机将这些庞大的事物

收稿日期:2012-02-17;修回日期:2012-04-05.

* 基金项目:重庆市科技攻关项目(CSTC,2010AC2037).

作者简介:江铁(1987-),男,四川三台人,硕士研究生,从事图像融合相关算法研究.

拍摄下来,拉大拍摄距离虽然可以得到宽范围的图像,但是拍摄到的物体可能会相对较小,而经过放大后的图像则会出现马赛克现象,效果很差。在航空航天照片的拍摄中这种现象显得尤为突出。使用现代化的硬件设施可能会解决这一问题。但是,像广角镜头等硬件设备的价格都很昂贵,使用方法复杂,而且会造成图像边缘变形的现象。另外一种方法就是使用软件来解决这一问题,如 Photoshop 等图像处理软件,可以将几个普通视角的图像做成宽视角的大图像,但效果不是很理想。所以,为获得高分辨率的全景图片,对数字图像拼接技术进行研究是非常必要的。

在虚拟现实方面,图像拼接得到了广泛的应用。画面真实感在虚拟场景的构建过程中是非常重要的,用图像拼接技术拼接成视觉宽、质量清晰地大图像来代替视频图像将大大节约数据传输量和数据传输速度。在计算机视觉领域中,图像拼接是可视景物表示研究的一部分。完整的可视景物表示还包括深度或视差信息的恢复。图像拼接还是构建和还原三维景物的基础。在遥感技术领域中,来自同一区域不同时间所拍摄到的图像之间的比较,经常要利用图像拼接中的图像配准技术来实现。通过图像拼接后的大图像有利于数据的存储和保存,图像之间的比较显现出更直观的效果,为以后的研究工作提供了准确的数据依据。在医学图像处理方面,图像拼接常常被用来辅助诊断,通过显微镜、超声波、CT 等技术获得的图像一般视野都很小,在诊断时,医师需要通过多幅图像的结合来判断病因,图像拼接技术便可以将这些具有共同点的图像拼接到一起,方便医生的会诊工作。因此图像拼接是远程会诊的关键环节。

综上所述,可知深入学习和研究图像拼接领域,改良现有算法,得到更清晰的拼接图具有非常重要的意义。

2 图像拼接技术国外研究现状

图像配准是图像融合的基础。国内外学者围绕这两项技术展开了大量的研究和讨论。1965 年,在 IFIP 会议上,有虚拟现实“先锋”之称的计算机图形学创始人 Ivan Sutherland^[6-7]作了题为“The Uelimate Display”的报告,提出了一项富有挑战性的计算机图形学研究课题。报告指出人们可以把显示屏当作一个窗口来观察一个虚拟世界,使观察者有身临其境的感觉。其中,这个显示屏上显示的图像,就是经过拼接后得到的全景图像。

在 1975 年,Kuslin 和 Hines 就提出了相位相关法。这种相位相关法主要是利用傅立叶变换的方法,通过傅立叶变换把原始图像变换到频域区,然后把互功率谱应用到图像中,对图像之间的平行移动做出相应的计算,最后得到拼接图像的方法。1987 年,De Castro 和 Morandi 提出了扩展相位相关法。扩展相位相关法能够对具有旋转和平移变换的图像进行配准。随后,Reddy 和 Chatterji 提出了基于快速傅里叶变换法,能对平移、旋转、缩放变换图像进行精确配准。

20 世纪 80 年代中期,专家和学者们开始尝试着对待融合的图像进行多尺度分解,然后在多尺度分解的层次上做融合处理。在 1984 年,Burt P. J. 首次提出了拉普拉斯金字塔变换基础上的图像融合算法。其融合算法的主要思想是先对图像做拉普拉斯金字塔变换,分解成不同的尺度,然后在不同的尺度上提取图像中的边缘、纹理等一些显著的信息,再制定一些融合规则对这些信息按照规则进行融合,最后把融合后的信息进行逆变换得到最后的融合图像,并且取得了良好的效果。由此可见,拉普拉斯金字塔变换基础上的图像融合算法能够取得源图像的多尺度特征,对融合的效果起着决定性的作用。

1988 年,Harris 提出了 Harris 兴趣点检测器。该算法图像像素在二维空间发生的变化是用自相关函数来确定的,该方法检测出来的特征点具有平移、旋转不变性,而且可以达到亚像素精度,并且对噪声干扰、光照等条件的影响都具有较好的鲁棒性。

有着全景图像拼接技术奠基人之称的 Richard Szeliski^[8]教授在 1996 年设计了基于运动的全景图像拼接模型。该模型采用 LM 算法^[9](Levenberg-Marquardt 迭代非线性最小化方法),以图像的频域特性为基础,用二维傅里叶变换计算两张图片间位移的横向功率谱来进行图像间的几何变换关系,从而实现图像匹配。

模型与实际的场景无关,可以精确到一个像素,具有快速的收敛速度,形成的全景图像的图像质量比较高,而且具有普遍的适用性,是全景图像拼接的经典算法。

1997年,Lelia M. G. Fonseca 和 Jun-wei Hsieh 等人将多尺度的小波变换应用于图像拼接中提取特征点,通过计算图像小波变换的模值的极大值来确定图像中的边缘特征点。

2000年,Shmuel Peleg、Benny Rousso、Alex Rav. Acha 和 Assaf Zomet 提出了一种能够根据相机的不同运动来选择模型的图像拼接算法。该方法是在基于运动的全景图拼接模型的基础上提出的。算法先将图像分成多个条状图像,然后通过条状图像的多重投影来完成图像拼接。

在全景图拼接领域针对相机的旋转形成的图像透视变形等问题,匹兹堡大学的 Serket Gumustekin 博士^[10-11]做了大量的研究。利用标定摄像机方法来建立图像成像的模型,将在图像成像的模型中选取的图像投影到同一个高斯球面上,利用这种方式得到一个拼接的图像。这种方法的研究必须要求对摄像机进行精准的标定,但是摄像机的透视镜头容易引起图像的变形,算法中不考虑这种缺点,最后完成的图像拼接的效果好,实验证明这种方法的可靠性十分良好。

2003年,Shmule Peleg^[12-14], Benny Rousso 等人提出了自适应全景图像融合算法,为图像拼接的研究开辟了新的领域,大大推动了全景图像拼接技术的发展。主要是改进了 Richard Szeliski 的全景图像拼接模型的基础上提出的。算法通过选择适合摄像机运动方式的的拼接模型,显著提高了图像匹配效率。2004年,Shmule Peleg, Benny Rousso, Alex Rav. , Assaf Zomet 在 Richard Szeliski 的基础_日故了进一步的改进,提出了自适应的图像拼接模型,它是根据相机的不同运动,白适应选择拼接模型,通过把图像分成狭条进行多重投影来完成图像的拼接。这一研究成果无疑推动了图像拼接技术的进一步发展,自适应问题也从此成为图像拼接领域研究的新热点。M. Brown and D. G. lowe 发表了 Recognizing Panoramas 文章^[15],提出了基于尺度不变特征(SIFT)的图像拼接技术,该算法完全自动完成,并采用了多分辨率对图像进行融合,收到了理想的效果。SIFT 算法最早是由 D. G. lowe 在 1999 年提出的,2004 年做的完善总结,并在 2005 年由 Mikolajczyk 和 Schmid 用实验证明了 SIFT 描述子性能最优。具有尺度不变性和旋转不变性,是目前图像拼接领域最为流行的算法。2006 年 10 月, Richard Szeliski 提出了图像配准的新理论。在图像配准前先对图像进行图像增强,把图像中的特征点的特征变得更明显,提高了匹配的准确度^[16]。2007 年, Matthew^[17] 等人对一组无序图片采用概率模型,从而得到正确顺序的图片并且检测出其中的噪声图像,实现了自动拼接无序图像。2008 年, Addison 设计了基于 SIFT 的图像序列拼接算法,算法通过一个概率模型验证全景图像序列,通过假设图像特征点不变的基础上来实现全自动图像拼接。实验表明:算法在成像质量和拼接速度上都要优于以前算法。英国的 Alex Ravacha 等人又对大幅场景图像的合成技术进行了深入研究,主要是建立一个能够自适应完成图像拼接的技术模型。在此基础上,为以后采用自适应的方法完成图像的拼接开辟了新的发展道路与方向^[18]。2010 年 7 月, Jungpil Shin 提出了基于能量谱的技术消除拼接后图像的重影,该技术通过使用人眼更加关注显著特征这一特点,计算图像的灰度梯度和能量谱,还原并放大缝隙处的特征点,然后根据人眼视觉特点消除重影。通过对比表明该方法能够较好的消除拼接后图像间重影^[19]。

3 图像拼接技术国内研究现状

随着国外图像拼接技术研究的兴起,国内学界对其研究也逐渐得到发展。1997 年,王小睿等人提出了一种自动图像配准方法^[20]。该方法是用序贯相似度检测相似度量方法以及归一化相关相似度量方法来建立模板图像和输入图像间的相似度量值,然后利用模拟退火算法随机进行迅速的匹配方法。该方法不具有全自动配准技术,是一种半自动图像配准方法,在对图像的高精度配准时使用较多。1998 年,张祖勋等提出了一种快速匹配方法^[21],当需要对不同传感器或空间不同分辨率的图像进行快速配准时,可运用此方法。因此该方法也叫做多级影像概率松弛整体匹配技术。其后,华中科技大学提出另外一种方法。通过分

析相临图像之间的关系而创建数学模型,利用相关法识别图像间特征点,并进行图像拼接形成大图像的拼接算法。在 2002 年,杜威、李华^[22]两人在前人研究基础上,提出了将图像拼接用于构造动态场景的方法,使图像拼接运用到了更广阔的领域。

周鹏等人针对配准图像只适用于小角度旋转的问题,提出了一种适用于大旋转角度的新角点检测算法^[23],该算法不仅对图像间的旋转角度没有限制、计算量小且配准精度高。封靖波通过建立相似曲线^[24],然后根据相似曲线在两个图像中寻找,最终找到最为合适的匹配位置。利用这种方法的优点就是能够大大的减少计算量,并且能将匹配的方法得以简化。赵向阳、杜立民使用了经典的 Harris 算法提取角点提出基于特征点匹配的图像自动拼接算法^[25]。2005 年,侯舒维、郭宝龙采用边缘信息闭值法提取基准特征块并采用金字塔式分层搜索方法,改进了以往图像拼接算法的运算速度。2006 年,王伟、陆佩忠提出了基于 Harris 特征点匹配方法。该算法利用最小二乘法进行 8 个参数的估计,有效地提高了匹配精度。西安交通大学的赵向阳教授使用鲁棒变换估计,提出了新的全景图像拼接算法。算法使用鲁棒变换估计技术并结合 Harris 算法^[26]检测图像的点,使图像匹配的速度和精准度有了大幅度提高,但和 Paul Bao 的拼接算法一样,算法在运行速度上没有做出改进。2007 年,夏妍妍、尹丽华和安居白提出了基于特征点匹配的图像拼接方法^[27],结合海洋图像的特点,对海上采油的航空遥感监测图像拼接方法进行研究,人工选取特征点,以便对有重叠区域的图像进行拼接,能够得到较为满意的拼接结果。赵辉等人提出了一种对图像具有自动排序功能的拼接算法,该算法对输入图像利用相位相关法进行排序。2008 年,郭红玉等人针对误匹配导致估计结果恶化的问题,提出了一种坐标归一化后基于 RANSAC 的基本矩阵估计方法^[28]。

李柏林等人在 2008 年 7 月提出了新的图像配准方法。该方法以现有的 RANSAC 算法为基础,以仿射变换为变换模型,采用二次导向匹配的方法来提取仿射变换矩阵。与 LM 算法相比,该方法在收敛性方面有所增强^[29]。同年 11 月,西安电子科技大学的张建奇、杨翠等人设计了基于 CSIFT 的彩色图像配准技术,通过最近邻匹配法求图像匹配对,利用匹配的特征求取图像间的变换参数及配准后的图像。该方法的匹配度较高,在多数情况下运行效率较以往的拼接算法要快^[30]。2009 年,刘美莹、汶德胜和曹红杏提出了一种基于角点特征的图像自动拼接方法^[31],分析了 Harris 算子的实现原理及其不足,提出了一种改进 Harris 角点检测算法提取图像的特征点,提高了角点的定位精度,增强了算法抗噪性能,还减少了计算量,图像融合采用的是像素加权的方法,该算法能有效提高配准精确性,具有较好的使用价值。2010 年 4 月,武汉理工大学的李庆、李芬等人提出了基于 SURF 特征配准的 pcb 图像拼接算法,在拼接过程中引入 SURF 配准来完成 pcb 图像融合,实现了 pcb 局部小图像间的无缝拼接,成像质量较高。2010 年 8 月,西安科技大学的李会平改进了图像拼接算法中的特征点匹配问题,他使用双向顺序搜寻的方法得到图像间的最大相关性角点,有效地提高了图像拼接的精度和速度。浙江大学 CAD 以及中科院自动化所模式识别国家重点实验室等高校和科研单位相继提出了以模板匹配的技术对图像进行图像信息搜索,从而确定图像重叠区的边界而得到较佳匹配位置的图像拼接方法。国防科技大学开发的 HVS^[32]系统采用的是一种基于特征线段的图像匹配算法。电子科技大学利用 FPGA 硬件技术设计了大场景图像拼接融合系统^[33]。

4 图像拼接技术面临的问题

从图像拼接理念的提出到现在,图像拼接技术得到了快速发展,国内外研究者提出并设计了多种多样的图像拼接方法,拼接技术已经日趋完善和成熟。通过分析研究全景图像拼接的发展现状可知,图像拼接技术依然面临一些需要解决的问题。

(1) 大多数拼接算法一般只能针对某一个或一类场景,还没有一种拼接技术能够满足所有的应用服务。例如基于透视变换的全景图像拼接算法只适用于采集到图像顺序比较混乱的场景;基于仿射变换的全景图像拼接技术用在当摄像机和待拍场景间的不是很大但摄像机的焦距比较大的情况下,成像效果比较好;

当待拼接图像的图像边缘特征比较明显的时候,一般使用基于特征相关的拼接算法。

(2) 目前绝大多数拼接方法把重点放在了提高图像配准的精准度的研究上,对匹配的效率研究较少。提高匹配精准度能提高全景图的成像质量,但图像匹配的计算量比较大,拼接算法的运行速度一直没有得到提高。图像拼接技术想要突破,需要把研究重点转移到图像匹配的速度上。

(3) 在图像拼接过程中,对高质量的图像处理速度会大大降低。主要是由于图像特征检测过程中检测到的特征点数目巨大,消耗大量的空间和时间。并且存在错误的特征点,特征点也没有完全检测到,如图 2 所示。

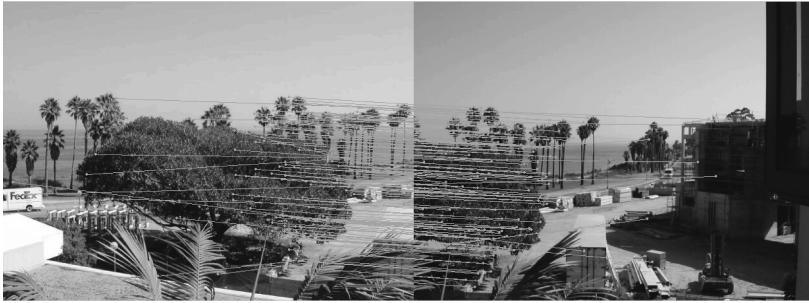


图 2 图像特征点检查及匹配

(4) 对于没有明显特征的图像进行拼接时会出现匹配错误等,比如对蓝天和海水的匹配效果不好。

(5) 对于简单的灰度图像,其拼接效果较好,但是对于彩色图像,拼接缝很明显。怎么较好的消除拼接缝还有待进一步深入研究,如图 3 所示。



图 3 拼接缝、蓝天处匹配效果不理想

5 图像拼接技术展望

图像拼接是一个非常复杂的系统工作,它包括光学、电子学、应用数学、图像处理等多个方面的基本理论和技术。因此,要真正实现准确可靠的图像拼接,还有许多研究工作:

(1) 图像配准算法虽然在近年来已经有了很好的发展,但是还存在一些不足,进一步提高算法的效率以达到实时性要求是我们的努力目标。希望在今后的图像拼接领域能有更快更好的发展,并使得图像拼接的应用领域更广泛,各个领域间的联系更密切。

(2) 改进图像融合算法,使其对图像的噪声具有较好的鲁棒性。

(3) 在实现自动拼接的基础上,减少拼接融合时的计算量,改进图像中亮度较高区域的拼接融合效果。

(4) 研究如何构建平滑清晰全景图像拼接技术有着显著的现实价值。由于图像匹配决定着拼接图像的质量,未来拼接技术研究重点还应该放在图像匹配上。除了研究如何提高匹配的精准度外,还要重点解决匹配的速度,提高拼接算法的运行效率。待拼接图像的质量决定了图像匹配的精准度和匹配速度,如何采集高质量的图像也是未来图像拼接技术需要重点研究的内容。

参考文献:

- [1] 敬忠良,肖刚,李振华. 图像融合——理论与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2007
- [2] 王伟,陆佩忠. 数字图像拼接技术[M]. 北京:清华大学出版社,2006
- [3] SLATER M,STEED A,YIORGOS R. 计算机图形学与虚拟环境[M]. 北京:机械工业出版社,2004
- [4] FRANCIS S H. 计算机图形学[M]. 北京:电子工业出版社,2009
- [5] BURDEA G, COIFFET P. Virtual reality technology[M]. 北京:电子工业出版社,2003
- [6] RAFAEL C,RICHARD E. Digital Image Processing[M]. Publishing House of Electronics Industry,2005
- [7] ROTHBAUM B O. HODGES L F. The use of Virtual Reality Exposure in the Treatment of Anxiety Disorders[J]. Behavior Modification,2003,23(4):507-525
- [8] SZELISKI R. Video mosaics for virtual environments[J]. IEEE Computer Graphics and Applications. 1996,16(2):22-30
- [9] 王兆军,田裕鹏. 基于 Harris LM 全局运动估计的电子稳像算法研究[J]. 应用科技,2010,2(01):31-34
- [10] GUNUSTEKin S, HALL R W. Mosaic image generation on a flattened Gaussian sphere. In Proc. Of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision,1996:50-55
- [11] GUMUSTEKin S, HALL R W. Image registration and mosaicing using a selfcalibrating camera. In Proc. Of IEEE Int. Conf. on Image Processing,1998:818-822
- [12] MAURER C R, FITZATRICK J M, MACIUNAS R J, et al. A review of medical image registration. Interactive image-guided neurosurgery, American Association of neurological surgeons,2003:334-379
- [13] GHAFARY B K, SAWCHUK A. A survey of new techniques for Image registration and mapping[C]. Proceedings of the SPIE: Applications of Digital Image Processing, Eng,2003:222-239
- [14] ROSENFELD A. Computer Vision: A Source of Models for Biological Visual Process[J]. IEEE Trans on Biomed Eng,2009,36(1):83-94
- [15] BROWN M, GLOWE D. Recognising panoramas[C]. Proceedings of IEEE international Conference on Computer Vison,2003:1218-1225
- [16] POGGIO T, TORRE V. Ill-posed problems and regularization analysis in early vision[C]. Artificial Intelligence Lab. Memo, No. 773, Massachusetts Institute of Technology,2004:56-68
- [17] BROWN M, LOWE D. Automatic Panoramic Image Sticking using Invariant Features[M]. IJCV 2007
- [18] ALEX R, ENGEL G, PELEG S. Minimal Aspect Distortion (MAD) Mosaicing of Long Scenes [J]. International Journal of Computer Vision-IJCV-2008:101-105
- [19] SHIN J, TANG Y. Deghosting for Image Sticking with Automatic Content-Awareness[J]. Pattern Recognition 2010,23(26):26-27
- [20] 王小睿,吴信才,李军. 模拟退火算法的改进策略在模板匹配上的应用[J]. 小型微型计算机系统,1997,18(8):32-37
- [21] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 北京:清华大学出版社,1997
- [22] 杜威,李华. 一种用于动态场景的全景表示方法[J]. 计算机学报,2002,25(9):968-975
- [23] 周鹏,徐守时. 基于角点检测图像配准的一种新算法[J]. 中国科学技术大学学报,2002,32(4):56-58
- [24] 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
- [25] 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
- [26] LAVALLEE S, TAYLOR R H, DUPONT B. Registration for computer-integrated surgery: methodology, state of the art. Computer-integrated surgery[C]. Technology and clinical applications,2006:77-97
- [27] 夏妍妍,安居白,尹丽华. 基于特征点匹配的图像拼接算法[J]. 大连海事大学学报,2007,33(suppl):162-163
- [28] 郭红玉,王鉴. 一种基于 RANSAC 基本矩阵估计的图像匹配方法[J]. 红外,2008,29(2):5-8
- [29] BAO P, XU D. Complex wavelet-based image mosaic using edge-preserving visual perception modeling[J]. The Computer & Graphics,2007,8(02):12-14
- [30] 文江平,胡岩峰,王无敌. 一种有效的 SAR 图像水陆分割方法[J]. 四川兵工学报,2012(2):108-110
- [31] 刘美莹,汶德胜,曹红杏. 基于角点特征的图像自动拼接算法[J]. 电子器件,2009,32(2):254-257
- [32] 张茂军. 虚拟现实系统[M]. 北京:科学技术出版社,2005
- [33] 王茂. 基于 FPGA 的大场景图像融合可视化的研究与设计[D]. 成都:电子科技大学,2007