

基于联合特征匹配的多视角三维重建方法^①

李硕明¹, 陈 越^{1,2}

¹(中山职业技术学院 信息工程学院, 中山 528404)

²(华南理工大学 电子与信息学院, 广州 510641)

摘 要: 本研究提出了一种基于角点与直线联合特征的三阶段匹配算法, 依次经过相关匹配、松弛迭代匹配和最小平方中值法匹配三个步骤, 并与此同时加入限定图像匹配区域、添加手工匹配点对以及局部直线匹配三个人机交互环节, 将局部坐标系中得到的数据点进行三维数据融合到一个坐标系中, 能较好解决视差不连续区域和遮挡区域的误匹配问题. 实验证明该算法具有良好的运行效率和稳定性, 能够对非平面物体进行精确三维重建并实现多视角显示.

关键词: 联合特征匹配; 多视角; 三维重建; 三维数据融合

Multiple-View 3D Reconstruction Approach Based on Hybrid Feature Matching

LI Shuo-Ming¹, CHEN Yue^{1,2}

¹(School of information Engineering, Zhongshan Polytechnic, Zhongshan 528404, China)

²(School of information and electronics, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: In this research, an approach of three-phase 3D corresponding algorithm based on hybrid feature of Harris and line feature points matching is proposed, in which relative matching, relaxation matching and LMedS matching are implemented respectively. At the mean time there Human-machine interaction processes are added, namely limitation of matching area, adding feature points by hand as well as line matching. Through coordinated transformation between views, 3D data of scene form different views integrated into a uniform reference coordinate frame, which can solve the false matching problem caused by inconsistent or shadowed areas. Experiment demonstrates the efficiency and robustness of this corresponding method, in which the 3D model of the targeted object can be displayed on all views.

Key words: hybrid feature matching; multiple-views; 3D reconstruction; 3D data integration

多视角三维重建是计算机视觉研究中的一个热点问题^[1]. 通常有如下两种情况: 其一, 针对在大场景中固定视点下的多个物体而言, 突破图像采集系统的视场限制, 通过三维拼接的方法获取各目的景物的空间三维坐标进行重建与拼接^[2]; 二、针对单个自然物体突破其自身遮挡等局限, 从不同角度获取同一物体的多幅图像, 然后将不同的局部坐标系中得到的数据点云进行坐标变换融合到同一个坐标系中, 并最终恢复出周身三维空间信息^[3]. 本研究针对获取三维信息的第二种情形而展开, 从不同视角获取待重建物体的多

次幅数字图像, 在对图像做预处理后提取特征点, 依次经过相关匹配、松弛迭代匹配和最小平方中值法匹配三个步骤并与此同时加入限定图像匹配区域、添加手工匹配点对以及局部直线匹配三个人机交互环节, 求解出一个精确的匹配点对集合. 逐步将后续视角下的图像两两匹配, 将新特征空间点进行三维数据融合得到物体的全景空间位置数据, 经过 Delaunay 三角化和贴纹理后, 最终用 OpenGL 编程得到其三维显示, 并将重建结果生成为 VRML 文件以便从多角度观察. 物体周身三维重建的效果示意如图 1.

① 基金项目: 广东省自然科学基金联合基金(U0835001)

收稿时间: 2016-02-13; 收到修改稿时间: 2016-04-14 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005439]

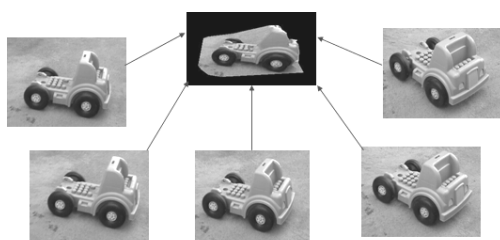


图 1 物体周身三维重建示意图

1 多视角三维重建流程框架

一般认为计算机视觉系统由获取图像、标定相机、提取特征、特征匹配、三维重建等几个部分组成^[4]。双目立体视觉系统拍摄得到的两幅图像平面共面且与光轴垂直，图像平面水平坐标轴共线，图像阵列的行就是极线，可以将匹配搜索范围降维，从而大大减小匹配运算量。随着数字摄影技术的不断成熟，图像获取阶段已经能够低成本地实现，通常利用 CCD 摄像机或 CMOS 摄像器件获得场景的本征图像^[5]。因当前相机标定、图像特征点提取、Delaunay 三角化的相关通用技术方法已经达到相当高的精度，因而本文重点介绍特征匹配、三维数据融合及重建的实现方法，详见第 2、3 节。

2 基于特征联合的立体匹配算法

本研究采用的是一种三阶段式联合特征匹配算法，其算法步骤如下：(1)计算灰度相关值并进行初始匹配；(2)根据“连续性”和“唯一性”，利用松弛迭代法消除模糊匹配^[6]；(3)根据对极几何约束，利用最小中值法剔除错误匹配^[7]。并在特征匹配的鲁棒性研究方面加入了三个人机交互环节：(a)可以选择限定目标匹配的图像区域；(b)当自动匹配点不足时添加手工匹配点对；(c)可在局部范围内施加直线匹配改善重建效果。大致过程如图 2 所示，各步骤具体介绍如下。

2.1 初级匹配

初始匹配允许一个特征点同时对应多个匹配点的情况存在，并在后续的鲁棒性匹配过程中逐步去除错误的匹配点对^[8]。对于每一个特征点 $m_1 \in$ 图像 I_1 , $m_2 \in$ 图像 I_2 ，设它们的图像坐标分别为 (u_1, v_1) 、 (u_2, v_2) ，给定以 m_1 为中心的相关性窗口 $(2n+1) \times (2m+1)$ ，在第二幅图像中相应于 m_1 的位置选定 $(2d_u+1) \times (2d_v+1)$ 的搜索窗口，计算所有在搜索窗口内的特征点 m_2 与 m_1 的相关性系数。当用某

个点 m_2 计算出来的相关值 $Score(m_1, m_2)$ 大于该阈值时，则可以认为该 m_2 是点 m_1 的一个候选匹配点。先求出图像 I_1 上所有角点在 I_2 中的候选匹配点，然后反过来求出图像 I_2 上所有角点在 I_1 中的候选匹配点，经过这两个过程后，可以得到一些初始的匹配点对集合。

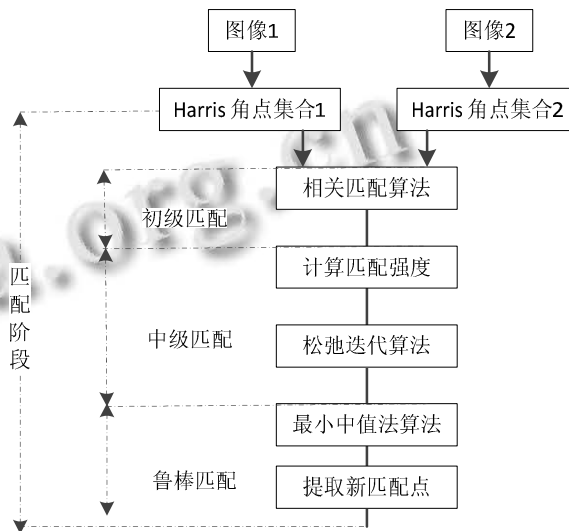


图 2 基于特征联合的匹配流程图

2.2 中级匹配

初始匹配得到的集合中存在一个特征点同时对应多个匹配点的情况，利用松弛法(Relaxation)可以大程度上纠正这类模糊匹配。“松弛”即指允许集合中的候选匹配对通过自我解散重新配对^[9]。

2.3 鲁棒匹配

通过迭代松弛法匹配，得到了一个一一对应的匹配点对集合，但仍然有一些错误的匹配点对需要剔除。在本论文中利用最小平方中值法(Least Median of Squares, LMedS)来实现这个功能。匹配时可选用的人交互操作，将明显在同一条线上的两点相继选中来实现部分直线匹配功能。

3 三维重建过程

3.1 多视角的数据融合算法

三维重建是指从两幅图像恢复空间点三维坐标及几何形状的过程^[10]。用本研究于重建的图像序列是由移动的单台摄像机或在不同视点的多台摄像机所摄取，利用 SFM (Structure from Motion) 算法恢复出摄像机外参数，然后求出离散空间点的三维坐标，即可求解出

在该视角下的重建信息。多目视觉的数据融合究其实质而言就是将处于不同局部坐标系下的三维空间点坐标转化到某一特定坐标下,从而实现三维数据融合的目的。假定摄像机的内参数已知,且景物是静止不动的。从最开始的两幅数字图像利用双目立体视觉原理获得一个基本的数据结构模型,然后依据相邻图像间的匹配点对关系,依次计算个后续图像的 3D-2D 投影关系矩阵 P ,每加入一幅图像信息都将初始的重建数据更新一次。如此与初始建模数据有不同特征点的图像姿态都能计算,在计算出所有图像的运动参数之后再通过光束法平差法来进一步求精,按照如上步骤,逐对将后续视角下的图像两两匹配,将新特征空间点进行三维数据融合,从而得到物体的全景空间位置数据。其流程图如图 3 所示,主要环节介绍如下。

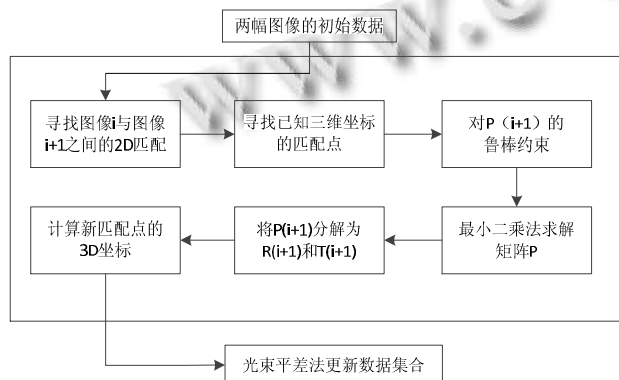


图 3 多视角数据融合流程图

3.2 计算初始数据集

初始数据集是以后融合各组新特征数据的基础,因而其准确性至关重要。从采集到的图像组里选取两幅图像作为初始图像,初始图像应该最具有代表性,应该选取纵深度明显的两幅图像,即同时包括后续图像中尽量多的公共特征,没有大面积的平面图像或只包含旋转因素以免形成退化模型而导致不能求解。

3.3 加入相邻图像的特征数据

在加入新图像特征数据之前必须求解新图像与其上一组图像组的位置关系。其位置关系可利用新图像和其前一相邻图像的对应关系以及原始数据点来求解。新图像与前一图像的几何关系通过鲁棒法求解,将两幅图像的匹配特征点集提取出来。如图 4 所示,在加入新图像的特征时,如果其与匹配点集中的点有三个以上的重复,那我们就能计算这些点的三维坐标,进而利用这些点求解图像特征点的 3D-2D 的变换

关系。变化关系求解后,即可将新图像的数据信息加入到数据集中。

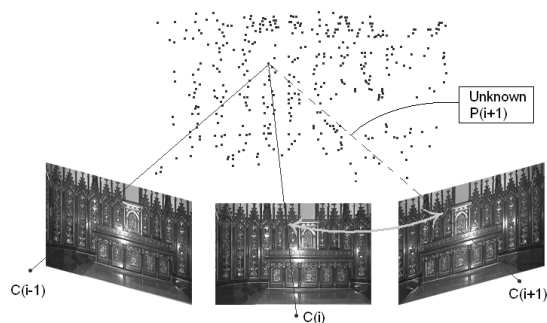


图 4 图像位置关系计算示意

3.4 更新初始数据集

匹配点集合可能存在错误的匹配,因而需要采取稳健的数据筛选策略。先将匹配点计算出的新三维数据保存为一个集合,直到后续 2 个以上图像中也出现同样的特征数据才作为可靠的新数据加入初始数据集。当所有的图像信息都加入后,利用光束法平差(Bundle adjustment)将模型误差最小化,最后作一个全局的数据更新。

4 方案验证

实验部分数据为普通 SONY 数码相机拍摄的图像,初始数据为 300 万像素(2048*1536)。拍摄方式为保持照相机的垂直高度,围绕待重建物体做简单单轴旋转运动,各相邻图像视角保持在 15 度至 30 度之间,较均匀的拍摄一个近椭圆形轨迹图像序列。在软件部分采用 Matlab 和 VC++ 语言编程实现,用 VC++ 来编写系统的实时处理部分和应用程序界面等部分,用 Matlab 来进行数据分析、数据统计等功能,试验中主要使用到了 Matlab 的图象处理工具箱以及 MATLAB 的扩展标定工具箱 TOOLBOX_calib,同时还调用到 Intel 的 OpenCV(Open Source Computer Vision)library Beta 4 作为整个系统的基础函数库。在三维点坐标归一化后,将离散点坐标二维三角化,并粘贴纹理在 OpenGL 中实现空间三维模型的多视角显示。图 5 是特征点提取和匹配后效果图,其中虚像框是限定匹配区域的选定,灰色的点是人工添加的匹配点对,将明显在同一条之间上的两点相继选中则可实现部分直线匹配功能。图 6 是 2D mesh 与 3Dmesh 效果图。将重建结果生成为 VRML 文件,就能在 Cortona VRML Browser 中从多个

角度进行观察. 图7是该物体重建后的信息在VMRL中的多角度显示效果.



图5 特征点提取与匹配效果图

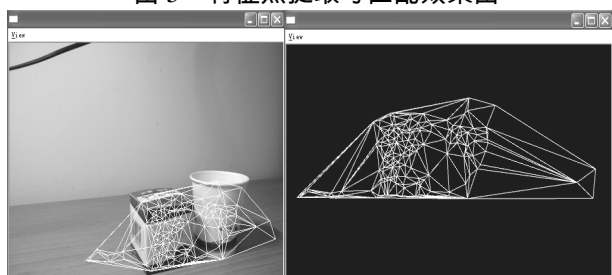


图6 2D mesh与3Dmesh效果图

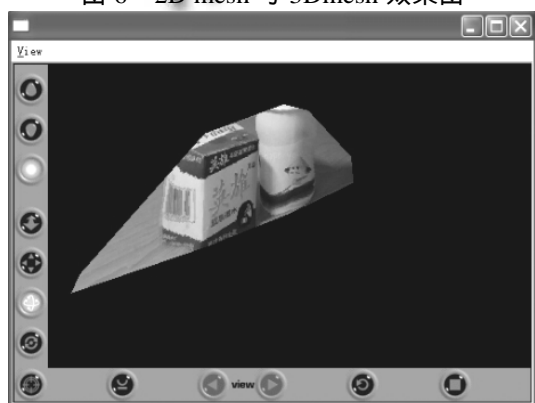


图7 重建物体的多视角显示

5 结论

本研究提出基于一种基于角点与直线联合特征的三阶段匹配算法,将在不同的局部坐标系中得到的数

据点进行三维数据融合,统一到同一个坐标系中.并基于OpenGL开发平台采用局部三维Delaunay的网格构造算法,构建出物体的全景可视化空间信息.实验结果证明所获取的物体三维信息能有效地应用于计算机视觉应用系统,可作为三维广告制作等商业用途.

参考文献

- 1 项辉宇.基于HALCON的板料成形网格应变测量系统的实现.计算机测量与控制,2014,22(11):1-11.
- 2 Liu S. A novel 3D reconstruction approach from uncalibrated multiple views based on homography. Journal of Computers, 2014, 9(7): 1590-1597.
- 3 李达等.基于一维相位相关的改进图像三维重建算法.微电子学与计算机,2013,30(1):73-76.
- 4 罗桂娥.双目立体视觉深度感知与三维重建若干问题研究[博士学位论文].长沙:中南大学,2012.
- 5 赵本东等.双目立体视觉中特征提取算法研究.电子技术与软件工程,2014,(6):122-123.
- 6 Maeda K. Trajectory tracking control of mobile robots without using longitudinal velocity measurements. Artificial Life and Robotics, 2009, (14): 352-356.
- 7 Schmid K. View planning for multi-view stereo 3D reconstruction using an autonomous multicopter. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2012, 65(1-4): 309-323
- 8 Huang X, Dubois E. 3D reconstruction based on a hybrid disparity estimation algorithm. The 2006 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Arizona USA. IEEE. 2006. 1025-1028
- 9 肖秦琨等.基于多视角视频的运动重建.计算机技术与发展, 2014,24(2):84-87.
- 10 唐勇等.基于匹配效率和计算精度提升的双目三维树干重建算法改进.燕山大学学报,2013,30(1):73-76.