

·光电系统·

基于立体视觉的三维模型重建系统设计

赵娟, 曾强, 魏林媛, 杨薇

(中北大学 信息探测与处理技术研究所, 山西 太原 030051)

摘要:以计算机视觉理论为基础,研究了基于立体视觉的三维重建技术。早期的三维重建技术受到理论研究水平的限制,建模过程需要专用设备如视觉坐标测量机来实现,且摄像机的运动受到严格的限制。在非特定环境下,对不特定模型采用普通的数码相机进行三维重建。该系统切实可行,操作简单,可以精确地恢复出二维图像检测方法所不能提供的物体的位置、几何形状等三维信息。

关键词:三维重建;Grabcut;张正友标定;SIFT匹配

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)02-0012-03

Design of 3D Model Reconstruction System Based on Stereovision

ZHAO Juan, ZENG Qiang, WEI Lin-yuan, YANG Wei

(Institute of Signal Capturing & Processing Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract : The technology of 3D reconstruction based on stereovision is researched by using computer vision theory. In the early time, 3D reconstruction was limited by the level of theoretical research, the modeling process required special equipment such as vision coordinate measuring machine to achieve and the movement of camera is severely restricted. The 3D reconstruction is performed on non-specific model by ordinary digital camera in the non-specific circumstances. The system is practical and simple and can accurately restore the three-dimensional information such as the location or geometric of the object, which cannot provide by two-dimensional image detection method.

Key words: 3D reconstruction; Grabcut; Zhengyou Zhang calibration; SIFT matching

基于计算机视觉的三维重建技术,是指利用两幅或多幅二维图像来恢复空间物体表面的几何信息,其过程是成像过程的逆过程^[1]。文中设计了一套切实可行的三维重建系统,用最普通的数码设备(如手持家用数码相机)从多视角获取物体序列图像,经过普通计算单元(如PC机)的处理,确定多视图的对应点与多视图之间的几何约束关系,恢复出特征点在三维空间的坐标与每幅图像对应的摄像机在三维空间中的坐标,获得三维模型。

针对非特定环境下的三维模型重建受到背景干扰而无法达到精度的问题,提出了采用基于

Grabcut的图像分割方法,该方法基于图割理论能量最小化的原则,可以较好地分离前景背景,去除图像的冗余信息。且系统采用三视图进行空间点的重建,相对于传统的只用两幅图的重建算法精度更高,稳定性更好。

1 基本原理

三维重建需要对输入的二维图像进行一系列的如相机参数、成像原理等分析,最终获得图像中特征点所对应的实际物体的三维坐标。总体上,该系统采用的具体流程如图1所示。

收稿日期:2011-01-17

基金项目:国家自然科学基金(61071193)

作者简介:赵娟(1985-),女,山西太原人,硕士研究生,主要研究方向为图像处理、三维建模。

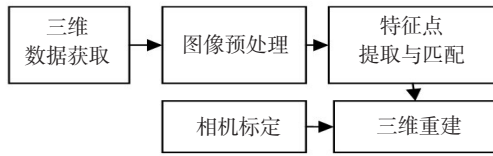


图1 三维重建基本流程

1.1 图像预处理

图像的获取是三维模型重建的基础,在通过传感器(如 CCD 摄像机)获取图像后,考虑到光照条件、摄像机性能等影响,需要对获取的图像做进一步处理,提高清晰度,改善视觉效果,将图像转换成一种更适合于人或机器分析处理的形式^[2]。该过程包括两个部分:(1)图像的平滑、滤波及增强;(2)背景与目标物体的分离。

针对图像质量退化的问题,采取基于简化 PCNN 模型进行噪声滤波及图像增强。对于重点讨论的去除图像中的冗余信息,采用基于 Grabcut 的图像分割方法。

1.2 相机标定

为了从图像中获取世界坐标系中三维物点与像点的对应关系,如图2,计算物体的位置形状等信息,必须建立摄像机成像的几何模型并获得其参数。在大多数条件下这些参数必须通过实验与计算才能得到,这个求解参数的过程就称之为摄像机标定^[3]。

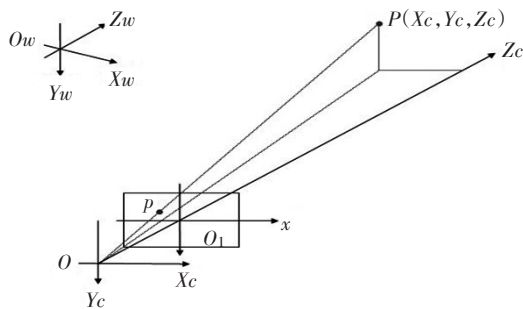


图2 各坐标系对应关系示意图

摄像机标定确定了摄像机内部几何和光学特性(内部参数),相对世界坐标系的摄像机坐标系的三维位置和方向(外部参数),标定的精度直接决定了模型重建的精度。

1.3 特征匹配

寻找两幅或多幅图像中的对应特征点,使图像

间的均方误差最小化,就可以得到更精确的相对位置关系,从而对两帧图像进行匹配。现有的特征点提取方法可以分为基于模板的特征点检测,基于边缘特征检测和基于亮度变换的特征检测三类^[4]。文中 SIFT 特征匹配算法是一种稳定的局部特征匹配算法^[5]。该算法匹配能力较强,具有优良的尺度和旋转不变性以及鲁棒性,广泛应用于机器人视觉、三维目标重建及医学图像配准等领域。

1.4 三维重建

在进行特征点匹配并且得到相机的内外参数后,就可以从像素坐标系中的某个像素点逆向映射成世界坐标系中的点。通过特征点在图像中的匹配关系,建立方程组,求解各个特征点在世界坐标系中的坐标值,再将各个特征点按对应关系连接成相应的三维立体图,完成物体的三维重建^[6]。

2 系统设计

2.1 图像分割

Grabcut 是一种交互式的图像分割方法,以简单的“硬分割”代替三分图的构建,减少了人工交互部分的工作量,是 Rother 等人对 Graph cuts 算法的改进^[7]。该方法有以下三点改进:(1)采用高斯混合模型(Gaussian Mix-ture Model, GMM)来取代直方图,完成对彩色图像的目标提取。(2)多次迭代估计 GMM 参数取代一次最小化估计完成能量最小化的过程。(3)通过非完全标记的方法降低了对交互工作的要求。

Grabcut 目标提取算法中每一个 GMM 都可以看做是一个 K 维协方差,在优化过程中引入向量 k 作为每个像素的独立 GMM 参数,相应的像素点上不透明度 $\alpha=0$ 或 $\alpha=1$,用 θ 表示目标/背景颜色分布的概率模型,所以图像分割问题可以转化为

$$\alpha = \arg \min E(\alpha, \theta)$$

Grabcut 的主要步骤如下:

(1) 初始化

① 人工设置背景 T_B 来初始化三分图。前景区域 T_F 为空,未知区域 T_U 取背景 T_B 的补集。

② 将背景区域像素的 α 值设为 0,未知区域像素的 α 值设为 1。

③ 分别用 $\alpha=0$ 和 $\alpha=1$ 两个集合来初始化前景与背景的高斯混合模型。

(2) 迭代最小化

① 求出未知区域中每个像素 n 所对应的GMM参数。

$$k_n = \arg \min_k D_n(\alpha_n, k_n, \theta, z_n)$$

② 由各个像素的数据切得高斯混合模型参数 θ 。

$$\theta = \arg \min U(\alpha, k, \theta, z)$$

③ 利用最小能量得到初始分割，

$$\min_{\alpha_n \in T_n} \min_k E(\alpha, k, \theta, z)$$

④ 重复执行步骤(1)，直到收敛。

(3) 用户交互编辑

① 人工交互制定图像中某些像素的 α 值，令其为0或1，更新三分图，执行迭代最小化中的第3步。

② 优化：重新执行整个迭代最小化的步骤。

若用户给出的初始化信息没有得到满意的分割效果则进一步交互，利用更多的信息重新最小化能量，直到满意的分割结果。

2.2 Zhang相机标定

这里采用基于2D平面标靶的标定方法，又称张正友标定法。该方法^[8]基本原理可用式(1)表示

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

平面模板和相机可以自由移动，且内部参数始终不变，这里假定模板平面在世界坐标系 $Z=0$ 的平面上。通过现行模型分析可以计算出相机参数的优化解，然后通过最大似然法进行非线性求精。得出镜头畸变的目标函数后，就可以求出所需的相机内外部参数。

基本流程描述如下：(1)打印一张黑白棋盘格模板贴于平面上。(2)采用Harris角点检测法检测出图像的特征点。(3)从不同角度拍摄若干张模板照片。(4)根据公式求出相机的内外参数。(5)求出畸变系数。(6)优化求精。

2.3 SIFT特征点检测与立体匹配

宽基线条件下的特征匹配是要提取稳定的特征并进行描述，从而实现差异较大的两幅图像之间的特征匹配。

SIFT特征向量生成算法包含以下四步：(1)尺度空间极值检测，确定关键点位置和所在尺度。(2)通过拟合函数精确确定关键点位置和尺度，去除低对比度的点。(3)通过梯度方向分布特性为关键点指定方向参数。(4)生成SIFT特征向量，如图3所示。

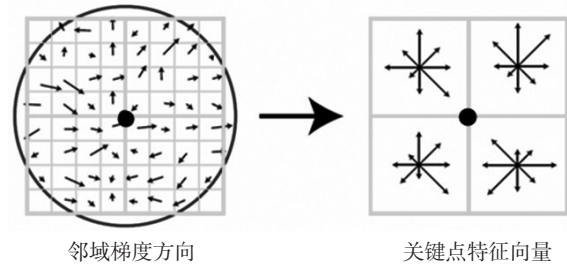


图3 SIFT特征向量

图4所示为特征匹配一般流程，SIFT描述子生成后，采用欧式距离作为相似性度量

$$D(X, Y) = \|X - Y\| = \sqrt{\sum_{i=1}^d (X_i - Y_i)^2} \quad (2)$$

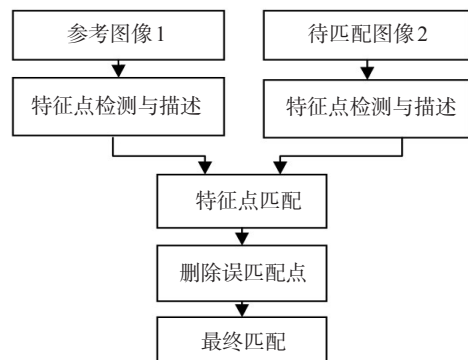


图4 特征匹配基本流程

D 越小，表明特征点对应距离越近，形似程度越高。匹配过程中对待匹配的点采用最近邻域法搜索图像2中的特征点，找到最近的2个特征点，如果最近距离和次近距离的比值小于某个阈值，则接受这一对匹配点。据此得到的初始匹配结果后，采用随机抽样一致性算法(RANSAC)剔除误匹配。

2.4 3D坐标确定及纹理恢复

采用一部数码相机从不同角度对同一物体拍3张照片，并确保同一特征点出现在3张照片中。然后通过三幅视图的图像对应计算可得到三焦点张量，与两视图几何的基本矩阵类似，只与相机参数有关，相机

(下转第30页)

- [6] Fotiadi Andrei A, Zakharov Nikita, Antipov Oleg L, et al. All-fiber coherent combining of Er-doped amplifiers through refractive index control in Yb-doped fibers [J]. Opt. Lett., 2009,34(22): 3574-3576.
- [7] Madasamy P, Jander D R, Brooks C D, et al. Dual-Grating Spectral Beam Combination of High-Power Fiber Lasers[J]. Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of, 2009, 15(2): 337-343.
- [8] Moti Fridman. Passive phase locking of 25 fiber lasers[J]. Opt.Lett.,2010.
- [9] Gao, K, L Xu, et al. Flat-top laser beam generated by coherent beam combining of Gaussian lasers[J]. Chin. Opt. Lett.,2010,8(1): 45-47.
- [10] 宁提纲, 胡旭东, 裴丽, 等. 单模光纤伴生耦合多模光纤超亮度单模激光器 [P]. 中国, ZL200810111817.0, 2009-11-11.

(上接第14页)

矩阵在相差一个三维空间的射影变换下可借由三焦点张量恢复,同时确定图像之间的基本矩阵。图5为直线 L 投射到三幅视图的几何关联。

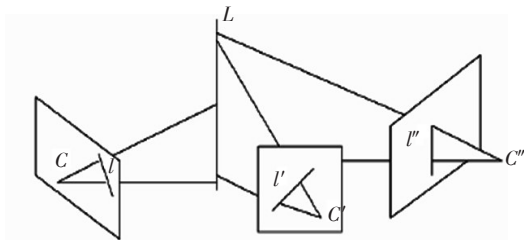


图5 三视图的几何关联

具体流程如下:(1)从序列视图中估计二视图几何然后连接两视图的匹配集,计算跨三幅视图的一组对应特征点。(2)由至少7组非退化的对应关系计算三焦点张量。(3)由三焦点张量恢复基本矩阵。(4)确定两个相机的矩阵后,在相差一个射影矩阵下恢复第三个相机矩阵。(5)可行性误差处理。

在得到三维坐标后,还要进行物体表面的可视化,文中采用Delaunay三角剖分法重建出物体的三维表面。最后通过OpenGL完成纹理映射^[9]。

3 结束语

三维重建技术是计算机视觉、人工智能、虚拟现实、医学图像等前沿领域的热点和难点,也是在基础研究和应用研究中面临的重大挑战之一。文

中对于非特定环境下的三维模型重建提出了一套切实可行的方案并进行了系统的设计,该系统不仅稳定,且操作简单、更加实用,大大提高了自动化的程度。可以通过三幅图像恢复物体的三维形状,该系统在虚拟现实、植物建模等领域具有重要的理论意义和实际应用价值。

参考文献

- [1] Linda G Shapiro, George C Stockman. 计算机视觉[M]. 赵清杰,钱芳,蔡利栋,译. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 冯宇. 基于计算机立体视觉的三维重建系统研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2009.
- [3] 马颂德,张正友. 计算机视觉——理论与算法基础[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [4] 陈兵,吕文阁,丁少华. 焦点检测技术研究进展[J]. 自动化技术与应用,2005,24(5):1-4.
- [5] David G Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints [J]. International Journal of Computer Vision (S0920-5691),2004,60(2):20.
- [6] 魏冲. 基于数码相机图像的三维重建技术研究[D]. 太原:中北大学,2009.
- [7] ROTHER C, KOLMOGOROV V, BLAKE A. "Grab Cut"-interactive foreground extraction using iterated Graph Cuts [EB/OL]. (2004-05-20)[2008-01-03].
- [8] Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.
- [9] 胡涛. 三维地形技术研究[J]. 光电技术应用,2007,22(3):74-78.

版权声明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中文科技期刊数据库》、《中国期刊全文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、美国《乌利希期刊指南》、波兰《哥白尼索引》收录期刊,并加入中国光学期刊网,建立了《光电技术应用》期刊网站,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸板、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。