

# 基于双视角的可见外壳三维重建研究

张志佳,王博实,李雅红,齐芳,张威

(沈阳工业大学软件学院,辽宁沈阳110870)

**摘要:**针对双目视觉重建方法在三维重建过程中步骤繁琐与重建效果不理想的问题,文中提出了一种基于双视角下可见外壳的三维重建方法。该方法主要借助平面镜成像原理,在不同视角拍摄包含物体与其成像的两幅图像,并根据成像原理确定物体之间的位置关系。通过相机与周围物体的运动关系求得相机参数,实现相机自标定。然后根据阈值分割及区域生长算法处理边缘信息得到目标轮廓,通过可见外壳方法计算侧影轮廓线,连接轮廓线形成重建模型。该方法通过自适应可见外壳种子体素生长在了解物体先验知识的情况下完成重建。文中对比文献“基于图像轮廓的三维重建方法”中的单视角重建物体方法,提出了双视角重建物体模型方法。实验结果表明,双视角重建方法简单实用,生成的三维模型准确真实。

**关键词:**相机自标定;图像预处理;侧影轮廓线;可视外壳;三维重建

**中图分类号:**TP391

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2015)03-0050-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2015.03.012

## Research on 3D Reconstruction of Visible Hull Based on Double Perspectives

ZHANG Zhi-jia, WANG Bo-shi, LI Ya-hong, QI Fang, ZHANG Wei

(College of Software, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

**Abstract:** For the problem that binocular vision reconstruction method is complicated and its reconstruction effect is not ideal in the 3D reconstruction process, put forward a 3D reconstruction method for visible hull based on double perspectives. The method mainly uses mirror imaging principle, taking two pictures in different perspectives containing two images of object and its image, then determine the location relationship by imaging principle. It uses the mobile relationship between cameras and objects to get the cameras parameters and achieve self calibration method. Then use the threshold segmentation and region growing algorithm for edge information processing to get the target contour, computing silhouette contour line with visible shell method and connecting contour lines to form a reconstruction model. The 3D object reconstruction method uses seed body of grain growth to complete the adaptive visible hull. Compared with the literature “3D reconstruction method based on image silhouette”, put forward a 3D reconstruction method based on double perspectives. The experimental results show that this reconstruction method is simple and practical, and the model generated is accurate and real.

**Key words:** camera self calibration; image preprocessing; silhouette contour line; visible hull; 3D reconstruction

## 0 引言

三维物体可见外壳重建技术已经成为重建技术中重要的组成部分,并被广泛地用于各个领域,在医学图像、遥感图像、工业检验测试、多媒体数据库以及毫米处理技术等领域都存在三维物体重建与识别技术。三维物体可见外壳重建技术在零件定位与识别、产品检测与检验、移动智能机器人与导航、遥感图像、医药卫生学、车辆跟踪与鉴别、国家防务系统中有广泛

的应用。

由于计算机视觉技术的不断进步,产生了许多基于可见外壳三维物体重建技术并得到了高速发展。第一个提出这方面理论的是科学家布鲁克斯,他所研究的系统优势是基于反馈的模型约束和推理符号<sup>[1]</sup>。而它的不足之处在于分割的鲁棒性不是太好,另外它也仅仅是利用了边缘的信息。Lkeuchi提出了一种由圆柱面和平面生成物体CAD模型的可见外壳重建方法,

收稿日期:2014-04-17

修回日期:2014-07-20

网络出版时间:2015-01-20

基金项目:辽宁省自然科学基金(20102163);沈阳市科技基金项目(F13-316-1-38)

作者简介:张志佳(1974-),男,博士,副教授,研究方向为图像处理技术与机器视觉技术;王博实(1987-),男,硕士研究生,研究方向为三维物体重建与识别。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150120.2200.023.html>

这种方法包括双摄像机形成的三维几何信息,其运行和编译在操作中发挥了重要作用。Bones 和 Cain 开发了可见外壳模型系统<sup>[2]</sup>。在实际生活中所描述的物体不只是平面的,绝大多数是立体的,即三维物体,三维物体在空间中的几何信息量是很大的,这就是为什么要建立一个能够描述三维物体的空间系统。这个系统的根本任务是根据实际物体的外壳特征点与特征线形成深度图像,其中最重要的一步是建立起模型解决办法,用边界表示的扩展方法重建物体。汉森提出的三维物体可见外壳重建方法是使物体模型库自动输出图像模型<sup>[3]</sup>。由于计算机技术的发展,计算机在绘图和描述物体的方面得到广泛的应用。汉森通过 CAD 建立可见外壳模型库,给物体重建技术带来很大的进步,它能完全准确无误地描述物体的实际特征。建立模型库的关键技术是用特征滤波器把物体特点按照规律自动选取后进行汇总<sup>[4]</sup>。在 Kak 和 Chen 的可见外壳研究系统中,用 3D 多边形建立物体模型,它把许多个视点进行汇总后形成深度图像,这比以前的图像更能反映出三维物体的几何信息,通过曲面位置和参数相结合确定曲面重建模型。后期 Vemur 等提出将物体深度数据经过系统进行处理,处理后得到描述实际物体的轮廓。GEOMOD 使物体重建成为 CAD 系统,把与视觉有关的特征和物体边界表示成结合物体的相关图重建物体<sup>[5-6]</sup>。用物体信息也可以完成近乎透明物体的重建。另外采用基于 MCD 距离作为图像相似度的度量可以实现部分遮挡物体的重建。还可以通过改进的分距离距离方法来完成重建。

文中阐述了基于平面镜成像的相机自标定方法与可见外壳三维重建两个部分,最后通过实验得出结论。

## 1 基于平面镜成像的相机自标定方法

相机标定是机器视觉的重点部分,也是三维物体重建的基础。人们需要用摄像机采集图像信息,并用计算机把这些信息编程为图像信息进行输出,在此基础上建立三维物体模型。相机自标定是确定每幅参考图像所对应的相机拍摄方位及其内部参数。目前出现的自标定算法中主要是利用相机运动的约束。利用场景约束主要是利用场景中的一些平行或者正交的信息。自标定方法灵活性强,标定效果较好。文中相机自标定方法通过平面镜成像原理对物体拍摄图像<sup>[7]</sup>。在图像中出现多个物体,那么这些物体之间必定存在某种关系,可以通过这些约束关系求解相机参数。

### 1.1 极线几何

极线几何是基于平面镜成像的相机自标定方法中的理论基础。极线几何也是重建过程中涉及的一种重要方法。极线几何原理最初是从双目视觉中的对应问

题开始考虑的,是研究同一场景若干幅图像之间约束关系的重要工具。在双视点结构下,图像点间的对应点遵循极线几何关系<sup>[8-9]</sup>。这种关系包括了摄像机所有的内外参数信息,因此它对摄像机的标定具有重要意义。可以通过极线几何约束关系计算极点位置。

两幅或多幅图像上有多对对应点,对应点之间存在着极线约束关系,这种约束关系由极线几何确定。如图 1 所示,  $M$  是平面镜,  $C_1$  是真实相机中心位置,  $C_2$  是  $C_1$  在平面镜中的虚像;  $E_1$  和  $E_2$  是  $C_1$  和  $C_2$  连线在各自成像平面上的交点,即极点。

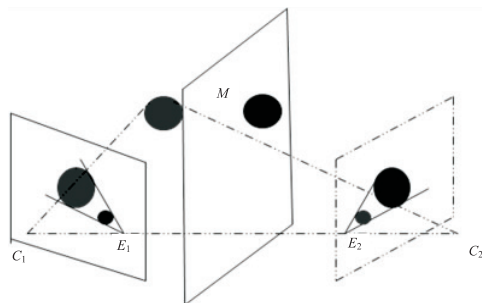


图 1 极线几何原理

### 1.2 计算极点方位与相机焦距获取

对给定采用平面镜成像的图像中,为了利用这些参考图像完成三维物体的重建与识别工作,下一步关键是确定拍摄这些参考图像时相机的空间方位。首先选取图像序列中的两幅图像建立一个初始的重建框架,然后将后续图像逐一加入上述框架,从而确定图像序列中每一幅参考图像的拍摄方位。

### 1.3 相机外参数矩阵获取

设两个相同相机在不同位置拍摄物体,可以把相机  $P$  坐标系作为世界坐标系,这样  $P$  外参数矩阵为  $[I | 0]$ ,  $Q$  相机投影矩阵为  $K[I | 0]$ ,  $Q$  相机的投影矩阵为  $K[R | t]$ 。其中,  $I$  是三维单位矩阵,  $K$  是相机的内参数矩阵,  $R$  和  $t$  分别是  $Q$  相机相对于  $P$  相机的旋转向量和平移向量。相对于该镜面的对称旋转向量可以用公式 (1) 表达:

$$R = \begin{bmatrix} -n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 & -2n_xn_y & -2n_xn_z \\ -2n_xn_y & n_x^2 - n_y^2 + n_z^2 & -2n_y n_z \\ -2n_xn_z & -2n_y n_z & n_x^2 + n_y^2 - n_z^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

旋转向量  $R$  可以通过计算镜面之间的旋转获得。在得到焦距  $f$  后,可求出旋转向量  $R$ 。

两相机的变换矩阵为:

$$P = \begin{pmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

通过以上公式,可以计算出旋转矩阵与平移向量。这种自标定方法的计算量小,只需知道极点间的长度即可,操作简单,鲁棒性强。

## 2 可见外壳三维重建

三维重建技术是机器视觉中的重中之重,同样也是三维识别技术的基础。近些年,三维物体的成像已经广泛用于三维动画显示、三维电脑游戏制作、医疗设施、文化遗产保护等方面。三维物体重建逐渐从开始的人机交互方法发展到如今的可见外壳重建方法<sup>[10]</sup>。

### 2.1 图像预处理

图像预处理从广义来说就是对图像进行某些运算,达到提取物体特征点、特征线、轮廓线的目的。图像一般包含目标物体部分与背景部分。预处理就是把所需要的物体部分轮廓提取出来。这种技术在很多领域都有应用,比如虚拟现实和图像处理。如何建立快速、准确、有效的方法来对图像进行处理,一直是图像处理技术研究的重点。

在重建中需要得到物体轮廓的信息,一般图像包含前景目标部分与背景部分,文中采用阈值分割法把目标物体与背景分离开。这种阈值分割法可以有效地对一些颜色差异较大的图像进行提取。往往在一些前景与背景颜色对比大的图像中,只需要一部分前景内容,比如在拍摄人物时,人物轮廓是提取的目标,所以需要提取人物轮廓。在一些半透明的拍摄图像中,像是玻璃、云彩等,前景部分与背景部分可能会重叠。所以需要更加精确的图像阈值分割技术。需要对每个像素点都进行较详细的分析。

基于区域生长的图像阈值分割方法主要分为两个步骤:第一步设置阈值,然后使用阈值分割算法分割;第二步利用数学形态学分析法对其做膨胀与腐蚀运算,扩张区域以外的半透明的区域,用该方式逐步向未知的区域生长,形成最终的处理图像<sup>[11]</sup>。这种阈值分割法适用于前景颜色与背景颜色差异较大时,操作简单,可执行性强,有很好的鲁棒性。

### 2.2 可见外壳重建方法

通过阈值分割算法的前景物体轮廓提取后,可以用可见外壳方法重建物体模型。基于可见外壳的三维物体重建方法也被称为基于轮廓的三维物体重建方法,最早由 Laurentini 提出。该方法属于三维物体的被动重建方法<sup>[12]</sup>,主要用物体在二维图像中的侧影轮廓生成三维物体模型。基于侧影轮廓线的三维物体重建方法具有很好的鲁棒性,几何结构和拓扑结构一致性也能够得到保证,并且可以通过增加视角数目来得到更精确的三维拓扑结构。

#### 2.2.1 可见外壳算法理论基础

在遍历物体全部体素时还要验证表面上具有相同值的相交体素情况。如果体素位于等值面包围的区域内部或外部,则可以很明显地发现该中心体素和它的八个顶点的投影点会落在投影区域的内部或外部,这

种做法可确定体素的等值面是否相交<sup>[13]</sup>。图 2 显示出了二维空间曲线生长示意图。三维空间的情形也是如此,不过二维空间则是由正方形和曲线组成;而三维空间物体是由点、线、表面组成的。图中的黑色实体正方形代表的是种子体素,白色正方形代表种子生成的新元素,种子体素按照生成新体素的方向生长,图中箭头指示的方向为继续增长的方向。

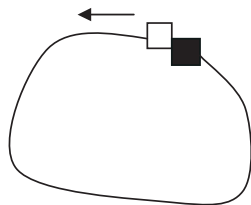


图 2 二维空间生长示意图

#### 2.2.2 可见外壳重建算法实现

可见外壳重建算法一般用初始化来设置初始种子体素的大小,同时创建一个链表,这个链表由三角形面组成,其中包括体素和三角面。通过检测匹配特征点位置与多视点立体匹配的中心位置,可以定义最初生成的种子体素是在等效表面上的。通过遍历找到所有体素和等值面,通过基于三角面体素值相交的表面可查找到所有自适应生长体素<sup>[14]</sup>。自适应采样所产生的种子主体会随着种子体素大小而调整。

新建成的种子体素的生长会延伸到周边的六个方向,直到种子体素遍历整个等值面为止。遍历整个带有相同体素面的方法是:如果在相邻方向所有种子体素已经遍历生成,则还需要确定在体素生长过程中体素之间的交集,并计算体素在三维空间中的世界坐标位置。如果两个顶点边缘有相同的符号,则该边缘一定在物体内部与物体表面的交集上,而且这交叉点不可能在等值面上。如果边缘上两个顶点的符号不同,则在区域以外,另一个顶部边缘所包围的区域内,体素将与等值面相交。若体素的表面具有两个等值面的交点,则构造的相交点都为中心点,其大小是由自适应采样所决定,三维物体重建过程就是沿着种子体素生长方向生成新体素的过程。

### 2.3 三维物体重建实验

#### 2.3.1 三维物体重建实验过程

实验选取两个较大的平面镜成 72 度夹角放在桌上。选择容易提取轮廓的物体放在镜子间,使用普通的数码相机锁定焦距后对场景中的三维物体拍摄两张图像,再用图像处理技术提取待提取物体的轮廓,使得物体内部像素值为 255,外部像素值为 0。计算拍摄物体时相机四个极点的位置,再确定相机焦距,得到相机坐标系与世界坐标系之间的旋转矩阵与平移向量。然后初始化种子体素,对各个图像进行多目立体匹配,生成种子体素,构造新的体素,查找表将体素转成三角



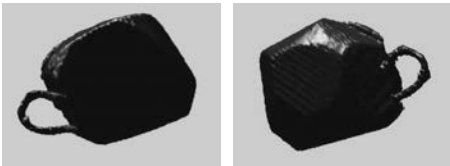
面,加入三角面链表中,再返回到初始体素环节。最后重建物体三维模型。

2.3.2 三维物体重建实验示例

文中的实验与文献[7]中的实验结果进行了对比。文献[7]根据平明镜成像原理,提出了单视角可见外壳重建方法。基于此,文中提出基于双视角重建物体。实验中对比了单视角与双视角的极线最优值、相机到平面镜的距离、焦距最优值、共迭代的次数和所用时间(如表1所示),最后比较了重建效果(如图3所示)。

表1 单视角与双视角的参数比较

参数	单视角	双视角
极线初始值	1.183 03	1.286 83
		1.180 3
极线最优值	0.215 985	0.229 853
		0.215 985
相机到平面镜的距离	1.275 5	1.172 3
		1.294 8
焦距初始值	0.846 557	0.902 451
焦距最优解	0.425 335	0.741 798
共迭代次数	30	40
时间/s	35	55



(a) 单视角重建效果图



(b) 双视角重建效果图

图3 不同视角下重建效果对比

通过表中数据与重建效果图可见,双视角的信息量更丰富。双视角重建效果从焦距的计算、迭代次数、极点最优解的计算和重建模型的效果都要好于单视角。而两种形式下的所用时间没有大的差别。双视角相对于单视角,更能体现出物体的各角度信息。

3 结束语

文中介绍了一种基于双视角下可见外壳三维重建方法。首先应用平面镜成像的相机自标定方法标定相机,通过相机与周围物体的运动关系求得相机参数。在目标轮廓提取过程中,图像前景目标物体与背景部分颜色差异较大时通过图像阈值分割法及区域生长算法提取物体轮廓,实现目标轮廓较为精确的提取。最后通过双视角可见外壳三维物体重建方法重建物体模

型。该方法可以在无法直接确定物体模型的情况下通过种子体素自生长完成重建,并可以与自标定同时进行。实验结果表明双视角重建方法简单实用,对比单幅图片重建方法生成的三维模型更准确真实。

文中的重建方法还存在一些局限性。其中自标定在精度上与传统标定方法还有差距;当物体颜色与背景颜色相近时,图像阈值法局限性较大,分割效果不明显,后期工作量大;对同一个物体在不同视角拍摄时可能会影响标定与重建结果。相信这些问题会在以后的研究中得到解决。

参考文献:

[1] 杨育彬,林 琿,朱 庆. 基于内容的三维模型检索综述[J]. 计算机学报,2004,27(10):1297-1310.

[2] 高 岑,李清光,李德华,等. 一种基于多视角三维表面重建的方法[J]. 武汉理工大学学报,2007,29(8):128-130.

[3] 张 峰,许振辉,史利民,等. 基于宽基线图像远距离场景的自动三维重建[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2010,22(2):256-263.

[4] 刘曙光,刘明远,何 钺. 机器视觉及其应用[J]. 机械制造,2000,38(7):20-22.

[5] 马 岩,王振宏,龚 琳. 基于RAC标定法的CCD摄像机参数标定技术研究[J]. 光学仪器,2012,34(2):11-15.

[6] Franco J S, Boyeb E. Efficient polyhedral modeling from Silhouettes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2009,31(3):414-427.

[7] 曹 煜,陈秀宏. 基于图像轮廓的三维重建方法[J]. 计算机工程与应用,2012,48(6):205-208.

[8] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions Oil Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.

[9] 刘凌云,钱新恩. 基于3D标靶的摄像机标定方法的改进[J]. 湖北汽车工业学院学报,2008,22(1):33-36.

[10] Ruzon M, Tomasi C. Alpha estimation in natural images[C]//Proceedings of IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Hilton Head Island, South Carolina: IEEE, 2000:18-25.

[11] 袁红星,郭 立,郁 理. 一种无需包围盒的自适应采样可见外壳生成算法[J]. 小型微型计算机系统,2010(9):1877-1880.

[12] Jolliffe I T. Principal component analysis[M]. New York: Springer,2002.


[13] Grady L, Schiwietz T, Aharon S, et al. Random walks for interactive alpha-matting[C]//Proceedings of VIIP. [s. l.]: [s. n.], 2005:423-429.

[14] Bai X, Sapiro G. A geodesic framework for fast interactive image and video segmentation and matting[C]//Proceedings of IEEE ICCV. [s. l.]: IEEE,2007.

# 基于双视角的可见外壳三维重建研究

作者：[张志佳](#)，[王博实](#)，[李雅红](#)，[齐芳](#)，[张威](#)，[ZHANG Zhi-jia](#)，[WANG Bo-shi](#)，[LI Ya-hong](#)，[QI Fang](#)，[ZHANG Wei](#)

作者单位：[沈阳工业大学 软件学院, 辽宁 沈阳, 110870](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：[2015\(3\)](#)

引用本文格式：[张志佳](#).[王博实](#).[李雅红](#).[齐芳](#).[张威](#).[ZHANG Zhi-jia](#).[WANG Bo-shi](#).[LI Ya-hong](#).[QI Fang](#).[ZHANG Wei](#)

[基于双视角的可见外壳三维重建研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(3)