

文章编号 1004-924X(2001)06-0527-04

微操作系统中微型物体上点的空间坐标的计算方法研究

朱方文¹, 龚振邦¹, Seiji Hata²

(1. 上海大学 机电自动化学院精密机械工程系, 上海 200072;

2. 日本香川大学 工学部, 日本 高松)

摘要: 为操作者提供微型物体的完整的、放大的三维信息, 就可以使操作者像在他日常生活中那样精密地控制所使用的工具和被操作对象, 解决了在显微镜下操作者的视野和观察方向受到限制以及缺少第三维信息的问题, 而为了实时、无遮挡地生成物体的三维虚拟放大影像, 需要获得被操作对象不同角度的图像信息并采用简洁、快速的算法以满足实时性要求。介绍在一个人类级微型物体虚拟遥操作系统中根据不同角度拍摄的图像计算物体上点的空间坐标时所采用的一些算法。

关键词: 虚拟遥控操作系统; 多摄像机系统; 摄像机定标; 归一化相关算法

中图分类号: O438 文献标识码: A

1 引言

传统的对微型物体的操作工作通常是在显微镜下完成的, 在显微镜下, 被控的三维对象物体的图像是二维图像, 缺乏深度信息, 而且操作者的视野和观察方向都受到了限制, 对于一个不是很熟练的操作人员来说, 在这种条件下对三维物体进行精密操作是很困难的。因而本研究项目希望建立一个人类级(human scale)的, 微型物体的虚拟遥操作系统, 采用多个摄像机, 从各个角度拍摄微型被操作对象和使用的工具的图像, 放大后送入计算机进行处理, 最后生成操作对象的三维虚拟放大图像, 显示在操作者所戴的头盔的屏幕上, 从而使操作者可以像日常生活中那样精密地控制所使用的工具和被操作对象。

但是如同在显微镜下一样, 通常的摄像机拍摄的真实世界中的三维物体的图像也是二维的, 为此, 该系统采用计算机立体视觉技术计算微型操作对象的三维(深度)信息。基本立体视觉系统模拟人类视觉方法用两个摄像机观察景物, 从不同角度同时获取被拍摄对象的图像, 系统从摄像机获取的图像出发, 计算三维环境物体的位置、形状等几何信息, 并由此识别环境中的物体。在此, 为生成所需要的操作对象的无遮挡的三维放大虚

拟图像, 采用多个摄像机从不同角度拍摄操作对象。同时考虑到生成微型物体遥操作需要的虚拟三维放大图像的实时性特性, 需要采用简单、快速、通用性强的算法, 计算三维空间中目标物体上点的空间坐标, 本文对所采用的方法作一简单的介绍。

2 系统构成

人类级(human scale)的微型物体虚拟遥操作系统由精密的多自由度微操作机构、多摄像机系统^[1-4]、头部运动跟踪系统和遥操作系统等构成。如上述, 多摄像机系统负责生成微型被操作对象的三维虚拟放大图像。多个 CCD 摄像机从不同方向和角度拍摄被操作物体的放大图像, 采用的算法的通用性使系统中摄像机的数量可以根据拍摄对象的情况任意增减, 摄像机所拍摄的图像经转换后送入计算机进行处理、计算, 获得被操作物体上各点的三维空间坐标, 头部运动跟踪系统检测操作者的头部运动信息, 根据操作者的观察方位, 实时生成微型物体的完整的、无遮挡的虚拟三维放大图像, 遥操作系统和精密的多自由度微操作机构使操作者能够感受到操作过程中获得的放大的力反馈信号, 并精确地控制对微型物体的操作。

3 物体点上的三维信息计算

3.1 定标参数计算

通常的立体视觉使用一个三维的物体作为定标参照物,上面有一些在制造时就精确测定了坐标的特殊点作为标定,然而对微操作系统来说,制造一个如此微小的三维定标物体并在其上精确地测量所有定标点的坐标是比较困难的,为了解决这个问题,使用了一个微型平面网格作为标定参照物(图1),网格中各线间距是相等的,取线与线的交点作为标定,用改变拍摄时定标物体的高度的方法获得第三维信息。

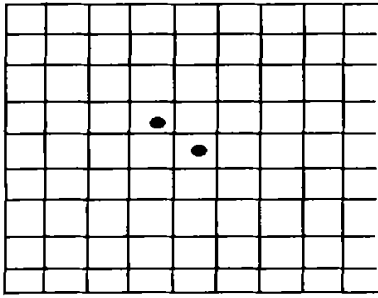


Fig. 1 Image of calibration object.

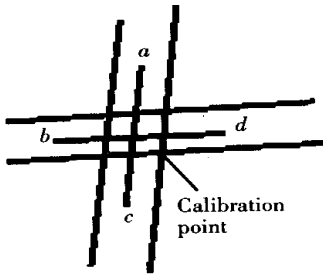


Fig. 2 Calculation of the calibration points.

在通常的计算机视觉系统的摄像机的标定中,计算定标参照物上特殊点的图像坐标时是在图像中用图像处理^[2]的方法抽取这些点的图像坐标,一般是用边缘抽取的方法或霍夫(Hough)变换的方法先抽取图中的直线,这些特殊点的坐标是这些直线的交点^[1]。然而作为人类级的操作系统,所有显示的摄像机摄取的微型物体(标定对象和被操作对象)的图像都是放大图像,所有计算也在放大图像上进行。图像被放大了数百倍,其表面光照不均匀的现象也同样被放大,简单地对整个图像进行上述处理无法满足标定的要求。因此,必须分别考虑图中所有标定上下左右各

方向上的照明情况,求出四个中轴点 a, b, c, d 的坐标(见图2), ac 和 bd 连线的交点即为标定点的精确图像坐标。这种多阈值的图像处理方法,可以最大限度地消除光照不均匀的影响。计算出的各标定点的图像坐标和已知的该点的三维坐标构成系统的定标参数。

3.2 图像点的匹配

在基本立体视觉系统中,两个摄像机获得图像 I_1 与 I_2 , 如果 p_1, p_2 是空间同一点 P 在两个图像上的投影点,则称 p_2 与 p_1 互为对应点。在图像 I_1 上任取一点 p_1 , 如果知道它在 I_2 上的对应点 p_2 的位置,则可以用立体视觉的方法计算空间点 P 的三维坐标,因此对 I_1 中的每一点 p_1 找出它在 I_2 上的对应点 p_2 的位置是立体视觉的关键问题^[1]。

由于系统使用了平面标定参照对象,因而采用射影几何原理进行图像点的匹配和空间点的计算,原理如图3所示。

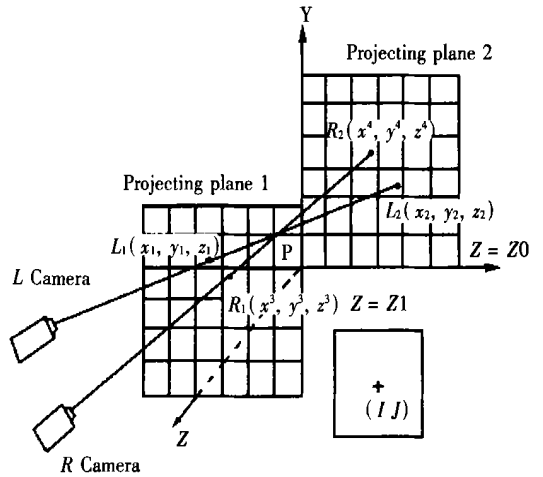


Fig. 3 Calculating the space coordinates with projection.

左、右两个摄像机从不同角度拍摄先后被置于两个不同的高度标定参照物的图像,得到左、右两对(4张)标定图像。

将左右两个摄像机拍摄的被操作物体图像称为 I_1 与 I_2 , 物体上的任意一点,在 I_1 和 I_2 上都可以找到对应的投影点。对 I_1 上被操作物体表面上的任意一点 x , 可以在由同一摄影像拍摄的两张标定图像上找到两个投影点 L_1 和 L_2 。根据投影点周围的定标参数信息,可以求出投影点的三维空间坐标。这两个投影点,在另一个 CCD 所摄图像 I_2 上的对应的投影点是点 x 的在 I_2 上的极线的两个端点,两点间的直线方程即为极线方程。

从理论上,点 x 在 I_2 上的对应点必然位于这条极线上。

用正规化相关算法^[3]计算点 x 在对应图像上的匹配点的坐标。正规化相关算法在图像 I_1 上 x 点周围适当区域内取一大小为 $N \times N$ 的模板,在 I_2 上,从极线的一个端点开始,沿极线在模板范围内对标准图像和对应图像的像素灰度分布状态进行比较,从而消除了直接进行比较模板内各个像素的灰度时,由于图像照明不均匀而引起的匹配误差,其基本概念如下式所示:

$$M = M(X_i, Y_i) \quad 1 \leq i \leq N$$

M 是模板内图像像素的灰度, N 为模板的大小。以 (U, V) 为起点的部分图像像素的灰度值为

$$I = I(U + X_i, V + Y_i)$$

正规化相关系数为

$$R(U, V) = F(N, I_i, M_i)$$

R 值在 $+1$ 和 -1 之间,从理论上说,当模板比较值完全一致时, $R = 1$ 。

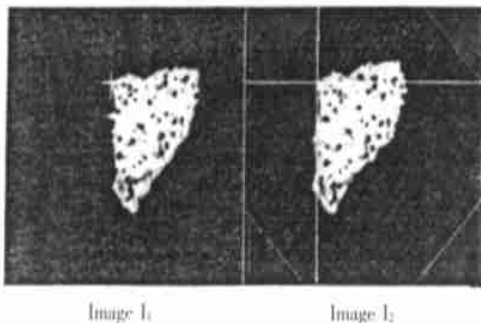


Fig. 4 Matching result of the image points pair.

在找到匹配点后,用前述的类似方法可以在右摄像机所摄的两个标定平面上计算出和匹配点具有同样图像坐标的两个投影点 R_1 和 R_2 的空间坐标,连接 L_1, L_2 和 R_1, R_2 , 得到两条空间直线,它们的交点坐标就是所求的物体上的点的空间坐标。

采用上述算法,计算出被操作物体上所有点

的空间三维坐标,就可以生成被操作物体的三维图像。图像点的匹配计算效果如图 4 所示。

4 结 论

通常立体视觉系统计算三维物体的空间位置坐标的整个过程比较复杂,主要是牵涉到大量的矩阵运算。而且当摄像机之间的相对位置发生变化后,需要重新计算相对位置关系矩阵,如果系统中摄像机的数量超过两个,则摄像机之间相对位置关系的确定和重新调整的过程将更加复杂。

本系统在计算物体图像上的点的空间坐标时采用射影几何原理计算微型被操作物体上的点的空间坐标,而避免了计算系统中各摄像机的参数矩阵以及它们之间的相对位置关系矩阵。简单的空间几何运算不仅提高了运算速度,也为寻求多摄像机系统中摄像机之间的关系问题,找到了一条简洁的解决途径。系统的定标数据与该摄像机和其它摄像机之间的相对位置无关,也不牵涉计算摄像机的内外参数的问题,算法的通用性使其可以应用于系统中任意一对摄像机上,这样,如果系统中某个摄像机的位置发生了变化,只需重新计算该像机的标定数据,与其它像机无关。系统中的摄像机的数量、位置可以根据需要任意增减,系统中的摄像机可以任意组合。这对于用多摄像机的方法来得到完整的操作对象的三维图像的系统是很有利的。用上述方法对 9 个 CCD 从不同方向对微操作物体拍摄的图像进行了标定数据计算实验和图像匹配算法实验,其结果证明计算精度满足系统的要求。

致谢 本文关于微型物体三维虚拟放大生成方面所做的工作,是在日本香川大学工学部 Hata 教授的指导下进行的,在此,本文作者对 Hata 教授及其他日本同事在本人工作中所给予的建议和帮助表示诚挚的谢意。

参考文献:

- [1] 马颂德,张正友. 计算机视觉[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [2] 水谷,グレ-スケールパターンマッチングを用いたFA用图像处理装置とその応用例[J]. O plus E, 1991, 14: 110-113.
- [3] 陈愚,钟先信,黎凯. 基于服务器组的分布式MS CAD系统[J]. 光学精密工程,2000,8(4): 351-354.
- [4] 陈平,姜成山,章云,等. 用于微细作业系统的主体成像技术研究[J]. 光学精密工程,2000,8(5): 444-447.

Calculation of 3D Coordinates of the Points on a Micro Object in a Micro Operation System Using Simple Algorithm

ZHU Fang-wen¹, GONG Zhen-bang¹, Seiji Hata²

(1. School of Mechatronics and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Faculty of Engineering, Kagawa University, Japan)

Abstract: The complete, magnified 3D information about a micro object to be operated enables the operator to control his tools and operate a micro object as he does in daily life. It covers the shortage of the limitation of viewing field and the observing direction and the lack of depth information that exist when the operator performs his operation under the microscope. To generate a real time, magnified 3D virtual image about the micro object to be operated, information about the object from different directions is needed. Some simple algorithms are used to meet the real time requirement. Algorithms used in calculating the 3D coordinates on a micro object with a pair of images taken by the camera pair in a multi camera system are introduced.

Key words: virtual teleoperation systems; multi camera systems; camera calibration; normalized correlation algorithm

作者简介: 朱方文(1957-), 女, 福建龙海人, 副教授, 上海大学机电自动化学院在职博士研究生。研究方向为智能机器人控制, 数字图像处理。