

# 三坐标测量机零件位置自动识别系统的实现

秦玉红\* 王磊 黄元庆

(厦门大学物理与机电工程学院 福建厦门 361005)

**摘要:**被测量零件在三坐标测量机位置的自动识别是实现三坐标测量机智能化的关键技术。将CMOS相机与激光器通过夹具固定在三坐标测量机测座上,实现与接触式测头的多传感器集成系统;采用机器视觉方法获取被测量零件的视觉坐标;用Visual Basic 6.0应用程序开发工具对CAD模型接口问题做出了解决方案,实现了从CAD模型中自动提取检测特征与公差要求;根据零件三维信息的获取与图像处理,实现了零件在图像坐标系中位置和方向的自动识别;利用各坐标系之间的转换关系,实现了零件在三坐标测量机机器坐标系中位置和方向的自动识别功能。

**关键词:**三坐标测量机 机器视觉 多传感器集成 柔性测量系统

**中图分类号:**TH72

**文献标识码:**A

**文章编号:**1674-098X(2010)01(b)-0066-04

三坐标测量机作为一种通用性强、自动化程度高、精度高的测量设备,在现代工业检测、质量控制和制造技术中越来越不可缺少,在先进制造技术与科学研究中也具有非常广泛的应用。为了提高检测系统的柔性,零件在三坐标机位置的自动识别系统是坐标测量机智能化的一个重要方面,它的主要功能是确定零件在工作台上的放置方式、位置和方向。只有快速获取这些信息,才能为三坐标机的智能化测量打下坚实的基础。目前解决这一问题的主要方法是将机器视觉与接触式测量结合起来,通过机器视觉主动地感知零件在工作台上的放置方式、位置和方向,作为检测过程自动化的基础。

## 1 机器视觉方法

零件在三坐标测量机上进行精密测量之前,不需要精确定位而是靠建立零件坐标系和进行相应的坐标计算来保证测量精度,因此,零件坐标系的正确建立是坐标测量机进行工作的前提和基础。

目前三坐标测量机上配备的均为单一测头——接触式测头。在进行精密测量之前通常是用人工方法使用接触式测头获取被测工件的部分点的三维坐标,建立工件在三坐标测量机中的机器坐标系,然后将工件的机器坐标系与CAD坐标系拟合,从而进一步用工件的CAD坐标指导测量机的高精度测量。在实际工作中,将两坐标系拟合的工作是非常不智能的,完全需要人工来进行,这样,检测人员的经验与检测过程中的错误就会对检测的结果造成很大影响。

另一方面,由于接触式测量的特点,测量时需逐点提起测头,然后放下,这就导致测量的速度慢,效率比较低,但它的测量精度与其它测量方式相比又是最高的,因此用它来做了高精度测量是必要的,但用于仅仅是零件定位与坐标拟合,显然是有点“大材小用”了。

而采用机器视觉的方法获取三维信息,可以获得快速与智能的测量效果,这是因为:与接触式测量相比,采用机器视觉方

法能够对测量对象作低精度、快速的测量;对于精度要求较高的零件表面,为了加快测量和建模的时间,先用机器视觉系统快速得到曲面的几何特征,通过多传感器测量信息智能融合等技术再对其它,如接触式传感器进行测量指导,实现快速高精度智能化测量。

## 2 多传感器集成

### 2.1 多传感器集成系统的实现

本文实现的多传感器集成系统,如图1所示,是在CMM的高精度接触式测头旁引入视觉传感器和激光结构光,采用多传感器融合的方法获取被测物体的三维信息,其中接触式测头的测量精度高,可达0.1-1  $\mu\text{m}$ 左右,可靠性好,但价格较高,测量速度慢,难于检测易碎、易变形或不能直接接触的物体;激光测头可较好地克服接触式测头的缺陷,测量速度快,但测量精度比接触式测头略低,一般为1-10  $\mu\text{m}$ 左右。视觉传感器一次获取的信息量大,可以很容易地获取零件的模型,但其测量精度低,一般大于0.1mm。由于三种传感器各自存在不同的优缺点,因此采用多种类传感器集成于一体,形成一个优势互补的测量系统。

实现多传感器的智能化测量,可以根据初步获取的视觉信息提取出曲面及边界特征,并规划测量路径,指导高精度测头快速智能化测量,降低人工介入,提高测量效率,最终实现多传感器的测量数据有效集成,达到信息融合的目的。

### 2.2 多传感器集成系统的精度验证

众所周知,三坐标测量机是一种高精度的三维精密测量设备,当在它的测座上安装上多传感器集成系统后,是否会对测量机的测量精度产生影响呢?

为了检测多传感器集成系统安装于三坐标测量机测座上之后,三坐标测量机的整机测量精度,用已安装多传感器集成系统的三坐标测量机对标准球( $d=24.9653\text{mm}$ )进行测量,测量时,将接触式测头分别置于五组不同的角度(A0、B0;A45、B45;A45、B-45;A90、B0;A90、B90),每组角度测量五次,每次测

量球体表面的五十个点,这样在五组不同角度下测量出的二十五个球,能够比较全面地反映出对标准球的测量结果。在二十五次测量中,最大正偏差是1.3  $\mu\text{m}$ ,最大负偏差是1.9  $\mu\text{m}$ ,二十五次测量结果的平均正偏差是0.95  $\mu\text{m}$ ,平均负偏差是1.24  $\mu\text{m}$ ,平均偏差和是2.19  $\mu\text{m}$ ,满足测量机的整机测量精度,由此得出:在三坐标测量机上安装多传感器集成系统后,仍然能够用来进行工件的测量与评价,而不会影响整机的测量与评价结果。

## 3 CAD模型接口

在使用三坐标测量机进行测量任务时,测量环节的第一步是明确测量任务,即定义检测要素,并获取与之相关的公差要求。在定义检测要素时,目前常用的手段是在测量软件对话框中由检测人员根据工程图纸手工输入公差等需检测信息,这不仅会造成不必要的重复性劳动,而且还容易导致出错,因此,根据零件的CAD设计数据文件,从CAD模型中自动提取检测特征,并能够让三坐标测量机自动识别,则上述问题便迎刃而解了。

要想实现测量机系统的自动化、智能化,首先要实现CAD与CMM的集成,这需要建立起它们之间的桥梁,让三坐标测量机能够读出需检测的项目与公差要求,用Visual Basic语言作为主程序,实现了VB语言程序控制的坐标机自动测量,并使用SolidWorks的VB接口来获取零件模型中相关特征及其参数,来实现对CAD零件几何信息与公差信息的自动提取。

## 4 坐标拟合

### 4.1 点云的分割与特征的提取

采用机器视觉方法获取被测工件的点云边界信息,提取出有效的曲面及边界特征,目的是要获取被测工件的视觉坐标。在我国,浙江大学<sup>[1-2]</sup>、华中科技大学<sup>[3]</sup>等对次技术都进行了相关的深入研究。这里采用的点云分割方法<sup>[4]</sup>是一种基于计算机视觉的方法,便于在多传感器系统中使用。一般来

通讯作者:秦玉红(1969—),女,工程硕士,工程师,linqin201@xmu.edu.cn。

说,物体的表面深度变化剧烈的地方,总会对应图像中比较强烈的边缘,而这些边缘也会对应三维点云的分割线。因而我们可以引入成熟的图像处理技术如边缘提取、图像分割等来提供点云分割的线索,如图2所示。只对图像的边缘点进行匹配,从而仅获取物体表面深度变化相对剧烈的区域的深度。我们认为,这些区域主要针对物体边缘和表面曲率变化较大处。同时可以减少视觉系统的计算量,提高处理速度。可以看出,用基于计算机视觉结果得到的边缘图像即是物体的边界特征,因此这些点云的三维信息就代表着物体的边界特征信息。

4.2 基于计算机视觉的零件位姿自动识别  
零件位姿自动识别的过程是以视觉坐标系为桥梁,建立起机器坐标系和CAD零件坐标系之间的平移和旋转关系的过程,也就是机器坐标系与视觉坐标系、机器坐标系与CAD零件坐标系之间的坐标转换过程。机器坐标系是以坐标测量机选定的零点为原点,以X导轨、Y导轨与Z导轨为坐标系的X轴、Y轴和Z轴而建立的坐标系;视觉坐标系是以摄像机的透视中心为原点,Z轴与CMOS或激光器的光轴重合,以CMOS或激光器像面的宽度方向为X轴而建立的坐标系;而CAD零件坐标系就是用CAD软件

进行三维建模的坐标系。图3即是各坐标之间存在的转换关系。

假设机器坐标系用 $O_1X_1Y_1Z_1$ 表示,CAD零件坐标系用 $O_2X_2Y_2Z_2$ 表示,视觉坐标系用 $O_3X_3Y_3Z_3$ 表示,各坐标系之间的相互关系如下:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 & \sin \gamma_1 & 0 \\ -\sin \gamma_1 & \cos \gamma_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta_1 & \sin \beta_1 \\ 0 & -\sin \beta_1 & \cos \beta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



图1 多传感器集成系统安装于三坐标机测座上

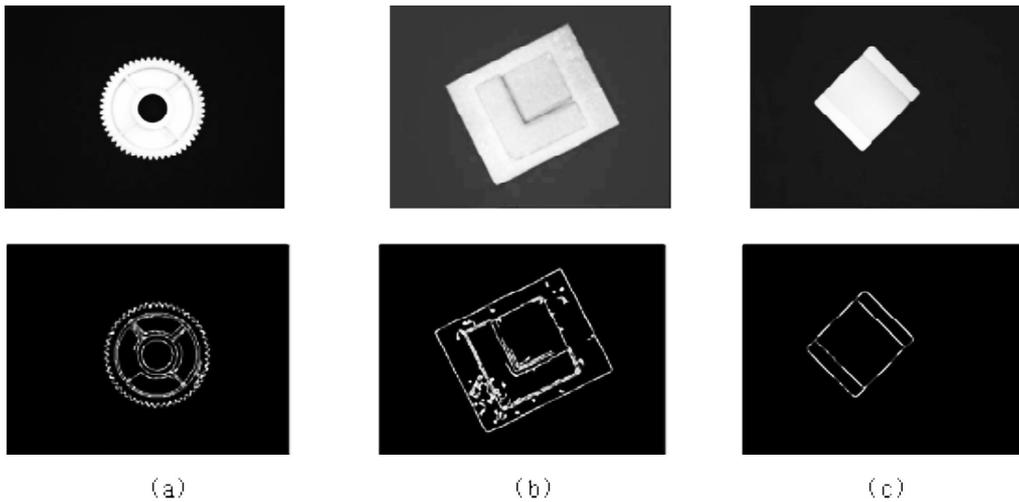


图2 物体深度变化与图像边缘的对应关系

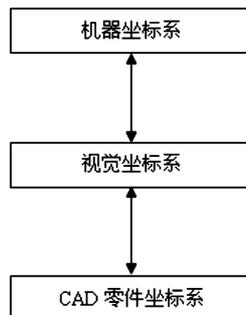


图3 零件位姿自动识别的坐标系转换

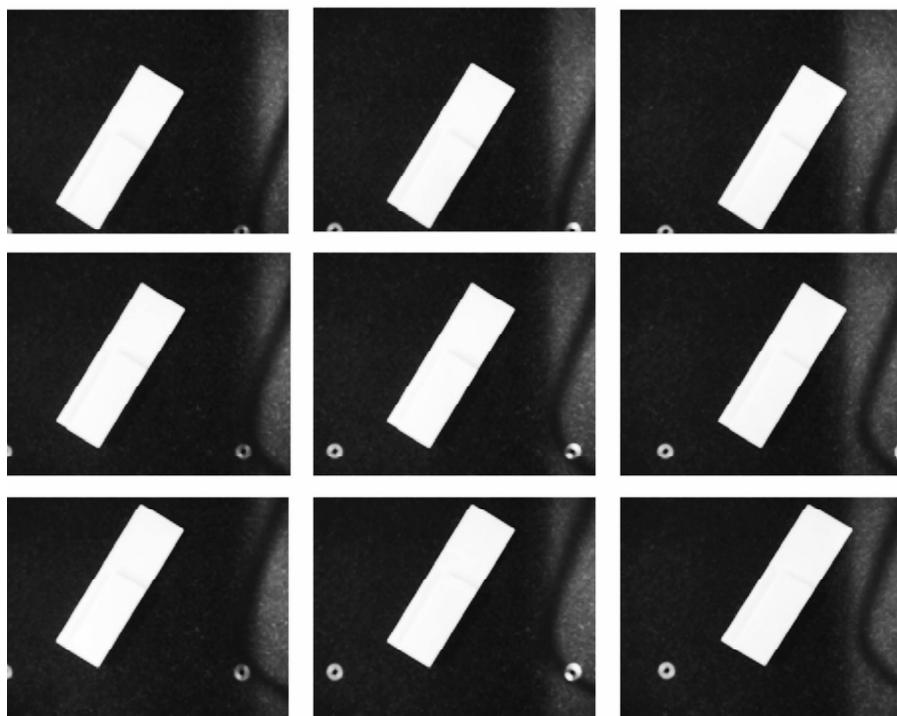


图4 按照对称多基线方式获取零件图像

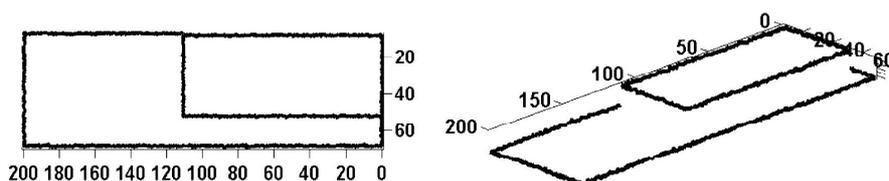


图5 按照对称多基线方式匹配得到的三维边缘

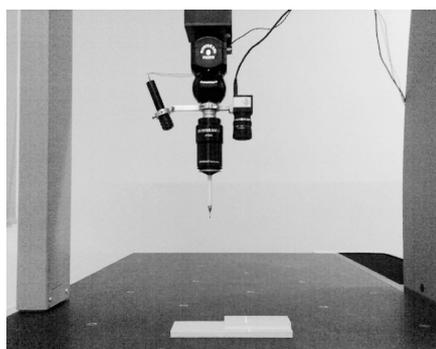


图6 利用坐标机进行激光三角测量

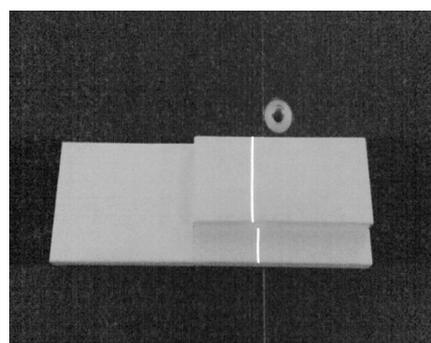


图7 激光三角测量的光条形状

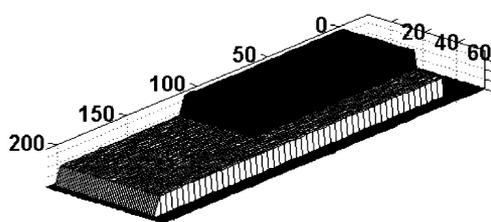


图8 使用激光三角法进行测量的结果

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_2 & \sin \gamma_2 & 0 \\ -\sin \gamma_2 & \cos \gamma_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta_2 & \sin \beta_2 \\ 0 & -\sin \beta_2 & \cos \beta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中的 $x_1, y_1, z_1$ 分别为测头坐标系原点相对于视觉坐标系原点在三个坐标轴方向上的平移量; $\gamma_1, \beta_1, \alpha_1$ 为测头坐标系相对于视觉坐标系的旋转角。 $x_2, y_2, z_2$ 分别为CAD零件坐标系原点相对于视觉坐标系原点在三个坐标轴方向上的平移量; $\gamma_2, \beta_2, \alpha_2$ 为CAD零件坐标系相对于视觉坐标系的旋转角。

由公式(2)我们可以看出,只要将物体在视觉坐标系中的不少于六个点,与物体在CAD零件坐标系中的相同点,建立起它们的一一对应关系,就可以将公式(2)中的六个未知数解出,从而得出视觉坐标系与CAD零件坐标系之间的变换方程。而公式(1)中的六个未知参数又可以通过标定得到,从而也得到了机器坐标系与视觉坐标系的变换方程。这样,我们就可以解出机器坐标系与CAD零件坐标系之间的变换关系,也就成功地实现了两坐标系拟合。

5 实验

5.1 采用计算机立体视觉测量方法获取工

件的边缘特征

现有一被测工件任意放置于三坐标测量机工作台上,首先采用计算机立体视觉测量方法获取工件的边缘特征。本文使用的计算机立体视觉系统首先要将相机内参数预先完成了标定,然后在不同的位置上获取被测测量物体的图像。在实验中采用计算机立体视觉测量方法是一种基于对称多基线的特征点匹配方法,如图4所示。

经过匹配获得的三维边缘如图5所示。

5.2 采用激光三角法测量结果

使用激光三角法进行测量的过程与光条形状如图6和图7所示。

使用激光三角法进行测量的结果如图8所示。

5.3 获取CAD模型的几何信息与公差信息

运行获取CAD选择点坐标值的VB程序代码,可以得到CAD模型中任意点的坐标值,如图9所示;同样,运行获取所选的尺寸公差值的VB程序代码,也可以得到CAD模型中所选择尺寸的公差值,如图10所示。

5.4 坐标拟合

图11给出了视觉坐标系与激光扫描坐标系之间拟合的结果。

工件的点云轮廓,通过点云的分割与特征提取方法,得到工件的视觉坐标;运行获取CAD选择点坐标值的VB程序代码,可以得到CAD模型中任意点的坐标值,通过坐标拟合方法,便可获得被测工件的在三坐标测量机的坐标,即实现了零件的位置的自动识别,为下一步的零件自动检测打下了坚实的基础。

参考文献

- [1] 单东日.反求工程CAD建模中点云数据区域分割及特征约束重构技术研究[D].浙江大学博士学位论文,2003.
- [2] 吕震.反求工程CAD建模中的特征技术研究[D].浙江大学博士学位论文,2002.
- [3] 武剑洁.基于点的散乱点云处理技术的研究[D].华中科技大学,2004.
- [4] 王磊.基于旋转对称三角测量视觉传感器的高分辨率三维信息获取技术研究[D].合肥工业大学博士学位论文,2007.

6 结语

将机器视觉引入到三坐标测量机系统中,采用计算机立体视觉测量方法获取工件的边缘特征,采用激光三角法测量获取

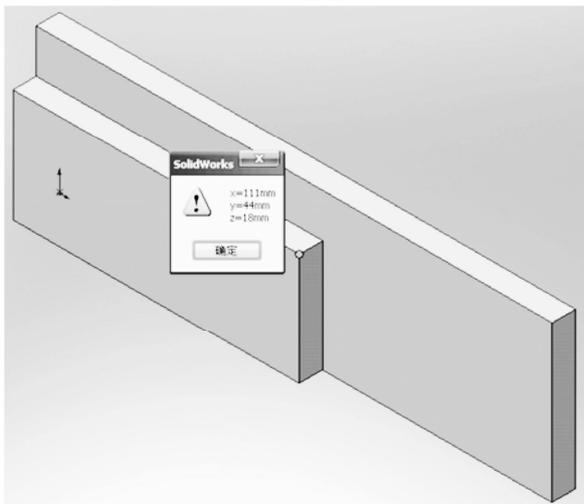


图9 获取CAD选择点的坐标值

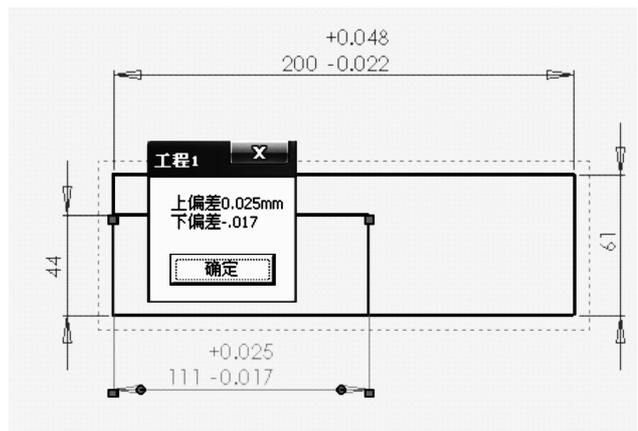


图10 获取CAD所选的尺寸公差值

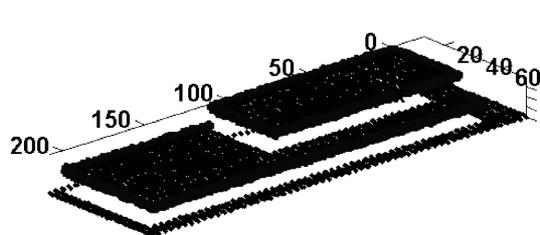


图11 视觉坐标系与激光扫描坐标系之间拟合的结果