

光切法在脚型测量技术中的应用

董继先 王 堃 刘建平

(陕西科技大学 机电工程学院, 西安 710021)

Application of light-section method to foot dimensions measurement

DONG Ji-xian, WANG Kun, LIU Jian-ping

(Department of Electrical engineering Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

【摘 要】光切法是一种三维曲面非接触测量方法,具有测量速度快,成本低,系统组成灵活等优点。介绍了如何将光切法用于脚型测量以及测量系统的设计、组成、扫描原理、数学模型、图像预处理等问题,提出了采用对称放置的双 CCD 技术。实验结果表明该系统具有良好的实用价值。

关键词:光切法; CCD; 三维扫描测量

【Abstract】Light-section Method is a kind of 3-D Non-contact measurement, and has many advantages, such as measuring quickly, lower cost, elastic system combination and so on. Introduced how the Light-section Method used for the foot dimensions measurement and the measurement system designing, combination, scanning principle, mathematics modle, processing information etc, and put forward an Double CCD symmetrical technique. The test result indicate that this system has good practical values.

Key words:Light-section method; CCD; 3-D scanning measurement

中图分类号: TH16 文献标识码: A

1 引言

以前的脚型自动测量方法采用传统三角测量法,使用单个 CCD,这在实际测量中会遇到很多问题,如大范围的测量盲区、提取的光刀断线等。本文介绍了应用光切法进行脚型扫描的测量系统,采用对称放置的双 CCD 技术。采用双 CCD 技术不仅可以解决上述问题,还可以提高测量精度。该测量系统根据 CCD 摄像机获取的人脚的点云数据,经过数据预处理后重构出人脚的三维模型,然后根据人脚数据对鞋楦进行微调,生成符合人脚数据的鞋楦模型,送到数控刻楦机加工。

2 系统的组成和工作原理及数学模型

2.1 系统组成

本系统包括如下部分: 半导体激光发生器、CCD 摄像机、实时数据采集电路、实时数据处理软件、计算机、云台、步进电机及驱动装置等,如图 1 所示。

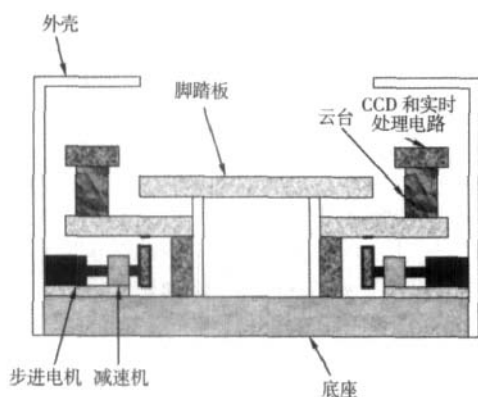


图 1 系统组成

半导体激光发生器经过柱面镜发出线光源, CCD 摄像摄取

光切面轮廓的像。照明系统和摄像系统固定于云台上,计算机通过步进电机驱动系统控制步进电机,步进电机带动测量装置在导轨上运动,步进电机、导轨及脚踏板固定在仪器底座上,在整个测量过程中静止,从而形成摄像光切面的相对运动,实时处理电路分别采集 CCD 摄像机在各光切面摄取信息,从而实现对脚型完整轮廓的测量(脚踏板左右两侧的硬件结构设计完全相同)。

测量系统的实现流程:

人脚→CCD 摄像机→实时数据采集电路→实时数据处理软件→鞋楦生成软件→数控刻楦机

2.2 测量方法及工作原理

光切法,又称结构光图像法,是一种视觉测量法,该方法利用线结构光对被测物体表面投影成像,以获得被测物体的外形轮廓信息。采用摄像机作为传感器件,借助计算机强大的数据处理能力可实现对物体空间位置的测量。

半导体激光发生器经过柱面镜发出线光源照射到人脚上,在人脚表面产生一条明亮光带,通过 CCD 摄像机摄取后,可获得光带的图像,经过计算机处理即可获得光切面上的物体二维轮廓信息,平行移动半导体激光发生器和 CCD 摄像机,让光切面按一定的间隔扫描人脚表面,将每一一定间隔的二维截面轮廓组成起来,即可获得人脚的三维轮廓信息。在测量中,光切面的平行移动方向为沿脚的轴线方向。

该方法是结构光测量方法中最简单的一种,对光带各处的亮度没有特殊的要求,只要光带与背景能区分开即可,对入射光的入射方向在光平面内也没有特殊要求,所以该方法对光学系统的要求不高。并且其采样速度可以达到每秒数千点,与其它的测量方法相比具有扫描速度快的优点。测量系统对 CCD 摄像机没

有什么特殊的要求,使用价格低廉的摄像设备即可以完成扫描。由此可看出光切法具有系统组成灵活、自动化程度高等特点,非常适合对脚型三维轮廓的测量,光切法测量脚印型示意图,如图 2 所示。

2.3 数学模型

为了说明系统的测量原理,首先介绍系统中用到的坐标系以及位置关系,如图 3 所示。

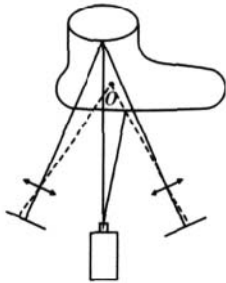


图 2 光切法测量脚型示意图

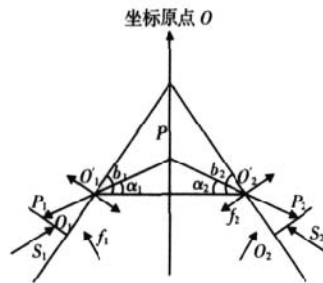


图 3 坐标系及位置关系

云台表面与脚型实体 $o_w x_w y_w z_w$ 面平行,并且云台的平移方向与 z_w 的正方向一致;云台的移动速度为 v ,则对应于某一时刻 t 的点 P 在云台平移前的空间坐标为 $(x_w, y_w, z_w - vt)$ 。因此,将人脚放置在平台上,让云台以速度 v 移动,并每隔一定时间间隔(可根据云台的速度确定此时间间隔)测一次数据。

脚型实体坐标系为 $o_w x_w y_w z_w$,光平面所在平面为 $o_w x_w y_w$,激光线照亮物体表面水平剖线上的测点 p ,在左右相机上形成左象点和右象点。相机轴距为 S, f_1, f_2 是左、右侧摄像机的有效焦距,左机角为 b_1 、右机角为 b_2 ,左测线和右测线根据左、右象点测出距离分别为 s_1, s_2, β 为摄像机 CCD 像面与相应镜头透镜光轴之间的夹角。由图 3 中测点三角形的关系可求出 P 点坐标 (x_w, y_w, z_w) 的值。

根据三角形余弦定律:

$$o_1'p_1 = \sqrt{s_1^2 + f_1^2 - 2s_1f_1\cos\beta}$$

$$o_2'p_2 = \sqrt{s_2^2 + f_2^2 - 2s_2f_2\cos\beta}$$

其中,

$$b_1 - \alpha_1 = \arcsin(s_1 \cdot \sin\beta / o_1'p_1)$$

$$b_2 - \alpha_2 = \arcsin(s_2 \cdot \sin\beta / o_2'p_2)$$

所以,

$$b_1 - \arcsin(s_1 \cdot \sin\beta / o_1'p_1) = \alpha_1$$

$$b_2 - \arcsin(s_2 \cdot \sin\beta / o_2'p_2) = \alpha_2$$

$$o_1p' = \frac{s \cdot \sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$$o_2p' = \frac{s \cdot \sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$$x_w = s \cdot \frac{\sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$$z_w = 0;$$

同理在 yoz 面上可以求出 y_w 的坐标。

由这种算法,可以求出任何一点的脚型的三维坐标,确定点的位置。

3 测量数据预处理

由于在实际测量过程中受到人为或随机因素的影响,使得测量的数据点中总会有一些不合适的“坏点”,它们的误差远远超过

了测量精度。若直接用它们进行拟合,则所得曲面将会出现不可预料的结果,如表面上的毛刺等。图像的预处理阶段大体分为以下三个步骤。

3.1 消除噪声

消除噪声就是为了得到更加精确的模型和好的特征提取效果。采用加权中值滤波和小波滤波将噪声点滤除。

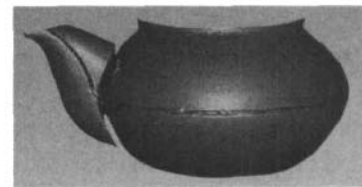
3.2 激光条纹细化

由于所拍摄的激光条纹较粗,为了提高计算精度,对经过二值化处理的激光条纹进行细化。可以通过提取激光条纹中心线的方法来达到细化的目的。

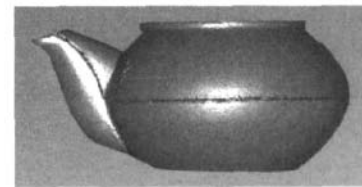
3.3 数据分割

在三维重构之前,进行的一个重要的工作就是数据分割。数据分割就是根据组成实物外形曲面的子曲面,将属于同一子曲面类型的数据成组,这样全部数据将划分为不同曲面类型的数据域,为后续的曲面模型重建提供方便。采用散乱数据点自动分割方法。

如图 4 所示,部分图像拟合效果图,图中被测对象是茶壶,从拟合图中可以更加明显地看出测量数据预处理的重要性。



(a) 未经数据预处理直接拟合的结果



(b) 经过数据预处理再拟合的结果

图 4 茶壶拟合部分图

4 结束语

介绍了利用光切法对人脚进行扫描,获得脚型的空间三维坐标,利用计算机对这些三维信息进行处理,但是主要进行的是一些理论方面的研究;通过实验,比较分析实际测量数据和被测实物,在 CCD 摄像机景深的测量范围内,该系统的测量精度可以达到 $\pm 0.5\text{mm}$,完全可以满足应用的精度需要,该方法是可行的,达到了预期设计的要求。

参考文献

- 金涛,童水光. 逆向工程技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003
- Peter B, Dijk Van, Marria Dominique, et al. Foot-size Measuring Apparatus [P]. European: 80200076.0, 1980, 6(8)
- Franked David, Beiser Leo. Method and Apparatus for Use in Making Custom Shoes [P]. United States: 4,745,390, 1988, 5(17)
- 徐从富,刘勇,蒋云良,潘云鹤. 个性化鞋楦 CAD 系统的设计与实现[J]. 计算机辅助设计与学报, 2004, 10(10)
- Li Jian Chen Zichen. Research on the Non-Contact Measurement of Unknown Freeform Surface and Determining its Key Geometric Characteristics. Journal of Information and Computational Science, 2004, 1(2)
- 李健. 三维人体测量技术研究[J]. 计算机科学, 2004(9)