

非球型回转体的内轮廓光电图象测量系统

李礼夫 钟先信

(重庆大学国家教委光电技术与系统开放实验室, 重庆 630044)

摘要 介绍了一种基于人工视觉的三维内曲面轮廓的光电图象测量系统。该系统由光学测量、激光扫描、计算机图象处理、计算机控制各子系统所组成,用它来对现代工业工程中的非球型回转体曲型零件的内轮廓进行非接触测量,得到所需零件的边缘轮廓和三维内曲面的图象信息。并论述了系统的测量原理、组成和特点。

关键词: 三维曲面测量; 非接触测量; 图象测量; 计算机视觉

1 前 言

非球型回转体零件是现代工业工程中的典型件,其尺寸和形位精度在一定意义上制约了它在该领域中的各种特性的表现,然而,由于其形状的特殊性,长期以来它的曲面轮廓(尤其内曲面轮廓)的制造精度,主要靠机床、工人的技术经验和有限的接触式测量手段来保证,缺乏有效的检测手段(尤其对处在人不可及的恶劣的工业环境中的零件)和充分的检测数据。导致零件的制造和测量精度低、有些零件甚至难以测量问题。严重阻碍了现代工业工程的发展,已成为现代计测领域中的一个难题。为此,本文结合国内某研究所的一个非球型回转体工件内轮廓的测量的实际课题,提出了用基于人工视觉的激光扫描图象测量系统来对该零件进行非接触测量。基于人工视觉的光电图象测量技术是以近代光学为基础,融光电子学、计算机图象学、信息处理等学科这一体的现代测量技术,它主要是通过被测物体的光学图象信息进行处理,高效而非接触式的获得物体的三维轮廓尺寸,形状,位置和表面特征,从而为现代工业工程中的零件的测量、机器人控制计算机集成制造技术等提供了一种新型的测量方法。

2 测量原理

图1为测量系统原理图,其中1为被测工件,2为测量扫描装置,由被测工件为非球型回转体所建立的测量数学模型可知,内曲面轮廓的各点*i*在测量坐标系 $\Sigma OXYZ$ 下的矢径 \vec{P}_i 可表为:

$$\vec{P}_i = M_\varphi^y \vec{P}_i' \quad (1)$$

其中: M_φ^y 是矢径 \vec{P}_i' 绕坐标轴*y*旋转 φ 角的变换矩阵,与 φ 角有关; \vec{P}_i' 是点*i*在以形成曲

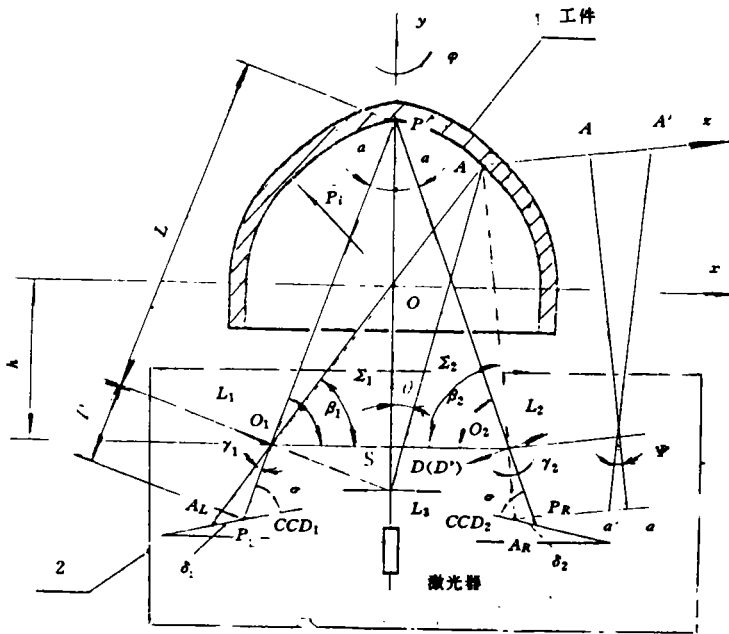


图1 测量系统原理图

面的圆弧的圆心 j 为原点的坐标系 $\sum O_i X_i Y_i Z_i$ 下的矢径, 与 θ 角和点 i 的坐标值 (x_i, y_i) 有关; 因此, 固定 φ 角去顺次测量曲面轮廓上对应 θ_i 角的点 i 坐标值 (x_i, y_i) , 可得到一条对应 φ 角的平面曲线, 改变 φ 角, 用上述方法重复对曲面进行测量, 可得到不同 φ 角下的各条平面曲线, 经图形处理就可获得工件的三维内曲面轮廓。依次思路, 本方案在测量前, 将被测工件固定于某一 φ 角位置, 使其 $x_0 y_0$ 平面与测量装置的入射光、反射光共面。测量时, 由激光器发出的光束经透镜 L_3 会聚、照射在内曲面轮廓定位点 P 处, 其散射光分别由透镜 L_1, L_2 接收, 会聚于图象传感器 CCD_1, CCD_2 上的 P_L, P_R 点。当扫描装置 2 绕 z 轴转动 θ 角, 对曲面轮廓上的另一点 A 进行相同测量时, 在 CCD 图象传感器上又可得到 A_L, A_R 点, $\overline{P_L A_L}$ 与 $\overline{P_R A_R}$ 就分别形成了轮廓点位移 \overline{PA} 在 CCD_1, CCD_2 上的象点位移 δ_1, δ_2 , 此位移的图象信息经图象卡空间量化, 灰度量化后, 被送入计算机中进行图象分析和处理, 就可得到曲面轮廓 A 点的空间位置。其值可由以下关系导出, 根据三角函数关系, 由图 1 可推出:

$$\gamma_1 = \arctan \frac{\delta_1 \sin \sigma}{l' + \delta_1 \cos \sigma} \quad (2)$$

$$\gamma_2 = \arctan \frac{\delta_2 \sin \sigma}{l' - \delta_2 \cos \sigma} \quad (3)$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \frac{\pi}{2} - a \quad (4)$$

式中: l, l' 分别为 p 点的物距、像距; a 为激光束与光轴的夹角, σ 为 CCD 的像面与光轴间的夹角, 其值可由 *Sheimpflug* 条件推出, 其值为,

$$\tan \sigma = \frac{l-f}{f} \tan a \quad (5)$$

其中: f 为透镜 L_1 、 L_2 的焦距,由此可求出 \sum_1 、 \sum_2 :

$$\sum_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha - r_1 \quad (6)$$

$$\sum_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha + r_2 \quad (7)$$

根据正弦定理,可计算出 $\overline{AO_1}$ 、 $\overline{AO_2}$

$$\overline{AO_1} = \frac{S \sin \sum_2}{\sin(\pi - \sum_1 - \sum_2)} \quad (8)$$

$$\overline{AO_2} = \frac{S \sin \sum_1}{\sin(\pi - \sum_1 - \sum_2)} \quad (9)$$

式中, S 是 CCD_1 与 CCD_2 间的中心距离;则 A 点在 \sum_{xoy} 坐标值为:

$$x_A = \overline{AO_1} \cos \sum_1 \frac{S}{2} \quad (10)$$

$$y_A = \overline{AO_2} \sin \sum_1 - h \quad (11)$$

从前面可知,当满足上述测量条件时, A 点在 \sum_{oxyz} 下的 z 向坐标值为0,然而由于 A 点的球切线矢量 τ 的变化,可能使点 A 的象点不在 \sum_{xoy} 平面内,造成测量误差,为此本课题利用面阵 CCD 图象传感器的两维性,结合分析光散射规律和计算点 A 的象点在 z 方向的位移 $\overline{aa'}$ 所对应的偏转角 ψ 即:

$$\psi = \arctan \frac{\overline{aa'} \sin \gamma_2}{\delta_2 \sin \sigma} \quad (12)$$

来修正此误差提高测量精度,当使扫描装顺次转 $\Delta\theta$ 角,对 \sum_{xoy} 平面轮廓上所有点进行测量时,可获得对应的被测轮廓点的坐标矩阵 T_φ :

$$T_\varphi = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & \theta_1 \\ x_2 & y_2 & \theta_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N & y_N & \theta_N \end{bmatrix} \quad (13)$$

其中 N 为任意整数,测完对应一定 φ 角的内曲面轮廓,再顺序绕 Y 轴转动 $\Delta\varphi$ 角,重复上述测量步骤,经数学处理,就可得工件整个内曲面轮廓上的点在 \sum_{0xyz} 系下坐标值 (x_i, y_i, z_i) 和矢径 \vec{P}_i^* 。同时,在小偏差假设下,通过求出实测点 \vec{P}_i^* 到被测理想内曲面 $f(x, y, z)$ 的距离:

$$d(\vec{P}^*)_i = \frac{f(x_i, y_i, z_i)}{\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} \quad (14)$$

其中: $f(x_i, y_i, z_i)$ 为 $f(x, y, z)$ 在 i 点的函数值:

f_x, f_y, f_z 分别为 $f(x, y, z)$ 在 i 点,的关于 x, y, z 的偏导数,

按照国家标准 $GB158-80$ 和国际标准 $ISO-1101$,以最小区域原则就可对被测内曲面轮廓进行评定,从而完成对非球型回转体内轮廓的非接触式光电图象测量。

3 系统的组成与特点

该测量系统主要由光学测量、激光扫描、计算机图象处理、计算机控制各子系统所组成。光学测量子系统的任务是用图象传感器和照明技术,从被测工件上获得一定的特征信息,如灰度,颜色,以便从图象中获得所要求的特征和信息,如边缘信息,以该系统的设计主要包括光源设计,CCD 视场设计和成像设计,因为被测工件的材料是属于非透明材料,且不属于自辐射体,因此,需要采用外加光源的照明技术,以便获得光学图象,考虑到工件内曲面轮廓及测量精度高的特点,选用了明视场镜面照明,即选用具有横模 TEM_{00} 式,波长为 $0.638\mu\text{m}$ 的较强光谱线的红光 He-Ne 气体激光器作为光源,并对其光束进行扩束,然后聚焦,其中扩束是为了减小发散角,聚焦是为了减小光斑直径,提高光点能量密度;由图象测量原理可知,CCD 视场的选择与测量精度有关,当 CCD 图象传感器的象元数目和可用的象元中心距,物方分辨率一定时,系统分辨正比于视场,因此,本系统采用视场很小的点扫描方式,将有利于提高系统的分辨率和测量精度;根据测量原理,对数控激光扫描系统的要求是,在测量过程中保证 CCD 图象传感器能正确地拾取工件上的所有内曲面轮廓信息。为此,该系统由基座,滑台,扫描台,直流伺服电机,圆光栅,长光栅等部件组成,滑台采用精密滚珠丝杠副传动方式,以精密直线滚动轴承作为导轨,并以长光栅来检测其移动距离;扫描台的旋转精度,用优化结构设计和配有高精度的空气轴承来保证,并由圆光栅来检测;通过采用计算机对各测得的位置信息进行数据处理,在神经网络控制系统的支持下,补偿,分离,消除扫描运动所出现的综合性误差,以保证扫描系统的运动精度和定位精度;由于被测内曲面轮廓上各点单位法矢 \bar{n} 和球切线矢量 \bar{r} 不相同,根据光散射原理。各点所产生的散射光在空间的分布也不相同,从而使接收透镜 $L_1(L_2)$ 在单位时间内接收的光能量发生变化,其值与被测表面的复折射率、粗糙度等因数有关。基于此点,为了更好地获取和处理轮廓的两维信息,本方案采用了在激光扫描装置上左右对称放置一个面阵 CCD 图象传感器的方式,来接收光强信号,减少测量误差;为了适应工件的大尺寸测量和减少误差传递,将激光器和 CCD 图象传感器设计为整体结构;计算机图象处理子系统在视觉知识库的支持下,对 CCD 图象传感器的数字图象信号进行分析,理解,并按要求输出具有一定特征的曲面轮廓图像,图像处理主要分数据处理、二值化处理、细化处理、误差处理、面轮廓的评定,本维图象的重建这几个阶段。由于原始图象往往含有噪声,而边缘和噪声在空间域同表现为灰度有较大的起落,在频率域反映为高频分量,因此,为了真实地反映实际轮廓,本课题采用了先对原始图象进行最佳曲面的拟合,用拟合好的曲面来代替原始图像,再在拟合曲面上滤噪,作边缘检测图象处理的方法;因为光源强度的变化和 CCD 图象传感器参数的约束,使得测量分辨率被限制在一个象元尺寸内,为此本课题从图象传感器特性出发,通过研究图象灰度的等精度量函数,对图象边缘进行亚象元的插补细分,使系统的分辨率提高到亚象元级;计算机控制子系统的主要任务接受外来各种信号和检测位置信号,按要求发出各种控制命令,使各组成系统有条不紊地工作。

4 结 语

本文结合现代工业工程中的一个实际课题,针对目前非球型回转体的内轮廓非接触式测

量中存在低效率,低精度,甚到难测量的问题,在综合运用光、机、电、算一体化技术的基础上,通过建立测量的数学模型,采用激光扫描测量系统获取零件内轮廓图象信息,运用物学基础上的人工视觉理论对轮廓图象信息进行分析处理,来实现该类零件的内轮廓的非接触测量,该课题已通过了技术和实验论证。

参 考 文 献

- [1]张以谟,应用光学. 北京:机械工业出版社,1985
- [2]罗宇华,计算机视觉. 人民邮电出版社,1990
- [3]T. A. Clarke, Laser based triangulation techniques in optical inspection of yindustrial strucrures . SPIE, 1990,1332:474-486
- [4]Luxon J. T. ,Parker, Industrial Lasers and Their Application. 1982

An Optoelectronic Image Measuring System for fhe Inner Profile of the Aspherical Rotary Component

Li lifu, Zhong Xioanxin

(The Open Labratory for Oproelectronic Technology and Systems of the State Education Commission of China, Chongqung University, Chongqung 630044)

Abstract

A novel optoelectronic image measuring system is introduced based on the fheory kf manual for the vision. The systemsconsist of optical neasuring Laser scanning, computet image processing and xkmputer control subsystem. Itis used for Making anon xontakt neasure ment the inner profile of a tupical aspherical rotaty component in the moden imdustry with the system, the inage of the profile and 3-D, surface can be given, The principle of the meawutenent and the construction and feature of the measuring system ate presented.

Key words: 3-D surface measurement, Non contact measurement, Image measurement, Computer vision