

基于计算机视觉的轮胎负荷轮廓测量系统

王国林¹,周大为¹,赵 璠¹,张 敬²

(1. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 风神轮胎股份有限公司, 河南 焦作 454003)

摘要:开发了一种基于计算机视觉的轮胎负荷轮廓测量系统。测量系统由CMOS摄像机、激光传感器、光栅尺和控制器等组成。通过轮胎胎侧轮廓的三维空间坐标,精确重构轮胎负荷胎侧轮廓,并实现了其几何参数快速测量,系统的测量精度可达 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。与传统的机械手工测量方法相比,该系统具有非接触、无磨损和高效率的优点。

关键词:轮胎;负荷轮廓;计算机视觉;精确测量

中图分类号:TQ336.1;TP391.76 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2016)03-0182-05

轮胎是车辆唯一与地面接触的部件,其性能直接影响车辆的操纵稳定性、安全性和舒适性。胎侧轮廓是轮胎结构设计中的重要组成部分,其负荷变形对轮胎性能影响显著。轮胎负荷变形后的断面水平轴位置、断面宽度和膨胀率等参数可用来评估轮胎对车辆行驶安全性和舒适性的影响。因此,轮胎负荷轮廓精确测量对轮胎开发和性能评价具有重要意义。

轮胎轮廓测量传统上是采用机械手工测量方法,难以避免由于量具挤压胎侧变形引起的误差,重复性差。目前国内外非接触测量方法主要包括经纬仪测距法、声学测距法、激光测距法和计算机视觉测量法^[1]。其中计算机视觉测量法是使用工业摄像机(以下称为摄像机)替代人眼对目标进行跟踪、识别和测量的方法^[2],相比传统方法,具有非接触、无磨损、高效率和高精度的优点;较之其他非接触测量法,具有原理简单、构造容易的优点。

计算机视觉测量主要分为单目视觉法、立体视觉法和结构光视觉法3种。结构光视觉法是一种既利用图像又利用可控光源的技术^[3],使用半导体线结构光传感器将结构光投射至被测物表面,摄像机在一侧采集结构光在被测物表面的漫反射光,根据摄像机、结构光和被测物的几何关系,测得被测物表面轮廓,具有精度高、成本低和使用方

便的优点^[1-2]。

本工作应用线结构光视觉法,提出了一种基于计算机视觉的轮胎负荷轮廓测量方法,研制了相应的视觉测量系统,并对成品轮胎进行了测量。

1 系统原理及组成

摄像机能够提供一种给定目标点的图像坐标,并确定一条含有实际目标点的空间直线;线激光传感器能够确定一个过目标点的空间平面。通过上述直线和平面交点即可确定所求点。

本系统的工作原理如图1所示。在受压变形后的轮胎胎侧布置精密位移台,并在位移台上安放摄像机和线激光传感器,当位移台控制摄像机移动至合适景深距离时,打开线激光传感器,同时给摄像机发送一个触发信号,将采集到的图像信号经由图像采集卡传输至计算机,根据视觉测量原理得到被测轮胎胎侧轮廓点云图。

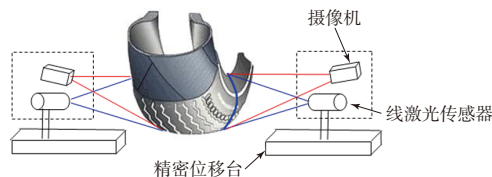


图1 系统原理示意

根据系统参数拟合实现功能,设计的系统框图如图2所示。系统主要包括闭环控制单元、步进电动机运动单元和高速数据采集分析单元3个部分。

作者简介:王国林(1965—),男,吉林伊通人,江苏大学教授,博士,主要从事现代汽车轮胎技术以及车辆动态性能及其控制技术的研究。

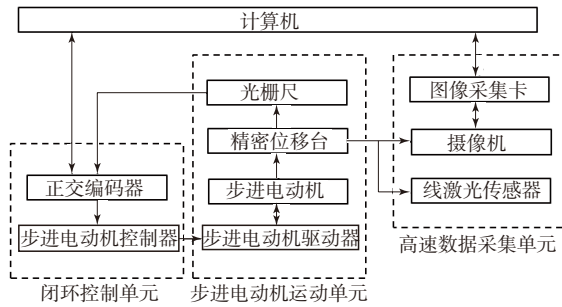


图2 系统框图

试验选用德国AVT公司生产的Guppy Pro F503 CMOS型工业数字摄像机,日本Kowa公司生产的LM3NCM型镜头,北京北光世纪仪器有限公司生产的MTS306型精密位移台(包括支承台、丝杠和导轨)。

2 测量系统软件设计

本研究使用openCV作为底层架构,以Visual C#.net编写软件界面。系统软件包括摄像机位移控制、摄像机标定、轮廓识别分析和轮廓输出4个模块。

2.1 摄像机位移控制

本测量系统要求摄像机位置具有很高的重复定位精度。MTS306型精密位移台由42式步进电动机驱动,摄像机与位移台支承面刚性联结。步进电动机控制器能实现对摄像机的运动控制,但由于步进电动机本身的丢步特性,难以实现精确控制。因此使用光栅尺作为反馈元件,尺分辨率为0.001 mm。将光栅尺读数头刚性固连于位移台支承面,输出位移信号经正交编码器上传至计算机。光栅尺、步进电动机控制器、驱动器和正交编码器即形成闭环控制系统。光栅尺将读取的位移信息通过正交编码器反馈给计算机,计算机将反馈值与理想值进行比较,根据位移偏差给步进电动机控制发送修正指令,实现运动闭环控制。

由于系统惯性机械误差,实际控制精度难以达到理想值0.001 mm。考虑系统响应时间、鲁棒性等因素,将控制容差设为0.02 mm,以满足工程需要。

2.2 摄像机标定

为确定摄像机的图像坐标系与世界坐标系之间的对应关系,需对摄像机进行标定。摄像机线性模型如下:

$$s \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix} = [K][R][T] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, (x_p, y_p) 为图像坐标点, s 为比例系数, (x_w, y_w, z_w) 为世界坐标系下的坐标, $[K]$ 为 3×3 摄像机内参数矩阵, $[R]$ 和 $[T]$ 分别为摄像机外参数中的旋转矩阵和平移向量。

标定过程可分为标定摄像机内参数 $[K]$ 和标定摄像机外参数 $[R]$ 和 $[T]$ 。一般采用一个加工精度很高的靶标实现摄像机标定。本研究选用图3所示的棋盘格作为标定靶标,每个单元格均为边长30 mm的正方形。依文献[4]给出的算法,标定软件采用Intel开源计算机视觉库openCV提供的图像处理库和Microsoft Visual C++ 编制,实现对摄像机内外参数的标定。

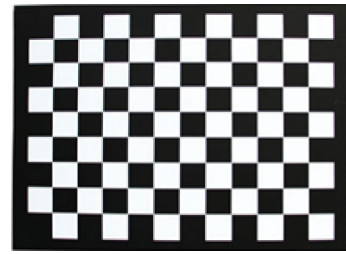


图3 标定板

为了满足不同类型轮胎的测量需求,需要对摄像机外参数进行多次标定。通过精密位移台将摄像机移动到不同位置,在每个位置标定一次,建立标定结果数据库,供实际测量时调用。部分标定结果如下:

$$K = \begin{bmatrix} 1664.35 & 0 & 1294.34 \\ 0 & 1644.84 & 1003.48 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.011 & 0.9998 & 0.01575 \\ 0.5988 & 0.006 & -0.8008 \\ -0.8008 & 0.01824 & -0.5987 \end{bmatrix}$$

$$T = [-0.109.066 \quad 81.7184 \quad 581.366]^T$$

2.3 轮廓识别分析

2.3.1 图像处理

轮胎轮廓测量图像处理主要包括去背景、去噪声和增强对比度。

拍摄到的图像中包含大量背景信息,测量过程中这些背景信息会对激光线的识别造成困难。

因此,在处理光条前必须先去除图像背景。本工作采用图像减运算法,即开启激光器前后各拍摄一张图像,将两张图像矩阵相减,得到清晰的线激光条纹,如图4所示。

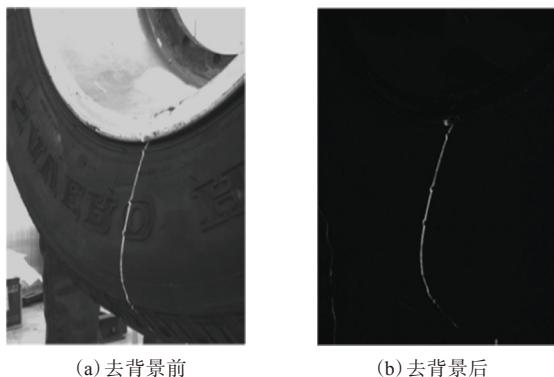


图4 图像去背景处理

通过摄像机获取图像时,由于受到外界干扰及摄像机自身电子噪声的影响,会使图像受到噪声干扰。因此在图像去背景的基础上进行降噪处理,改进图像质量。本工作采用中值滤波的方法进行降噪处理^[5],可以有效消除图像中的椒盐噪声,保证后续测量精度^[6]。

受光照等条件的影响和硬件本身条件的限制,摄像机得到的线激光条纹有时会模糊不清,影响测量精度,因此必须对图像做增强处理。本工作采用S曲线增强算法^[5],增强后的图像见图5。



图5 增强后的激光条纹

2.3.2 中心线提取

在视觉测量系统中,光条中心的提取精度直接影响整个系统的测量精度。通常亚像素级精度光条中心提取方法有几何中心法、重心法和曲线拟合法等^[7],考虑到算法的鲁棒性、计算效率和精度,采用曲线拟合法,具体步骤如下:

(1) 对已滤波增强的图像依次搜索每一行,找

到光强峰值点,即该行灰度值最大点,设该点为 $P_0(x_0, y_0)$,灰度值为 v_0 ;

(2) 选取 P_0 左侧灰度值小于 v_0 的邻点 $P_{-3}(x_{-3}, y_{-3})$, $P_{-2}(x_{-2}, y_{-2})$ 和 $P_{-1}(x_{-1}, y_{-1})$ 以及右侧灰度值小于 v_0 的邻点 $P_3(x_3, y_3)$, $P_2(x_2, y_2)$ 和 $P_1(x_1, y_1)$,设灰度值分别为 $v_{-3}, v_{-2}, v_{-1}, v_1, v_2, v_3$;

(3) 根据最小二乘法对这7个点按式(2)进行二次拟合,以拟合曲线极值点作为光条中心。

$$v = ax^2 + bx + c \quad (2)$$

可由 a 和 b 确定抛物线极值点 x 坐标:

$$x = -\frac{b}{2a} \quad (3)$$

2.4 轮廓输出

通过调用贝塞尔曲线拟合工具对点数据进行曲线拟合,拟合后的曲线显示在图框中,见图6。

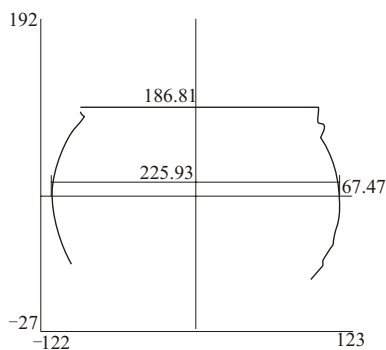


图6 结果输出

为方便用户通过AutoCAD软件对断面轮廓的检测结果进行二次分析,本系统通过调用dxf输出控件,将采集到的轮廓点数据文件输出为dxf文件。同时为了对检测结果进行判定,通过com组件将轮胎断面轮廓水平轴高度、断面宽度和胎圈宽度等参数保存到Excel报表中。

3 结果分析

3.1 测量过程

(1) 离线完成摄像机内参数标定,将标定结果存入软件后台。

(2) 将标定靶标安放在被测量位置,通过步进电动机驱动位移台,将摄像机移动至起始拍摄位置,采集图像后进行外参数标定,步进电动机的控制精度可由闭环控制单元保证。

(3) 控制步进电动机带动摄像机移动10 mm,

再次采集图像并标定外参数。

(4) 重复上一步操作若干次, 获得若干组外参数数据, 将标定的结果存入后台数据库。

(5) 将轮胎安放在被测位置并加载, 打开线激光传感器, 将摄像机移动至合适拍摄位置采集图像, 调用之前的标定数据可获得轮胎胎侧轮廓点云图, 使用贝塞尔曲线拟合出平滑的轮廓曲线。

3.2 误差分析

系统的测量误差包括步进电动机位移控制误差、摄像机标定误差、线激光传感器误差(主要是安装位置误差)和图像处理误差。由于轮胎胎侧轮廓为一个复杂曲面, 难以根据胎侧的测量结果评判系统精度, 因此本工作提出标准块误差分析法。该方法使用一个加工精度很高的六面体金属块(如图7所示)替代被测量物体。金属块宽度为 (150 ± 0.02) mm, 表面须具有良好的漫反射性质较高的平面度。将系统测得的金属块宽度尺寸与金属块实际尺寸做差得到系统的测量误差。这个误差除了包含上述误差, 还包括金属块本身尺寸误差和形位误差, 即说明系统精度高于此方法测得的精度。



图7 金属块测量

测得金属块两侧表面轮廓云图后, 拟合出两条直线, 在理想情况下, 这两条直线必然平行; 但由于机械加工误差、摄像机标定误差和图像处理误差, 这两条直线未必平行。因此以两直线平均距离替代理想情况下两平行直线距离。计算公式如下:

$$d = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} l_{i,2} + \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} l_{j,1} \right) \quad (4)$$

式中, n_1 为第1条直线拟合点数, n_2 为第2条直线拟合点数, $l_{i,2}$ 为第1条直线中第*i*个点与第2条直线的

垂直距离, $l_{j,1}$ 为第2条直线中第*j*个点与第1条直线的垂直距离。

误差分布如图8所示。

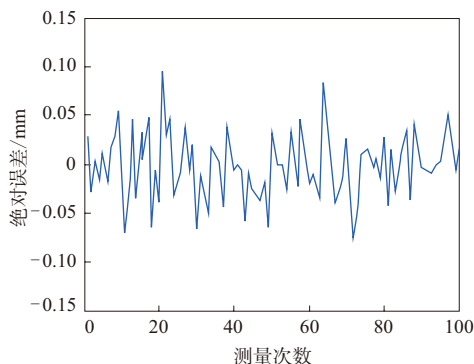


图8 误差分布

计算得平均误差为 -0.0024 mm, 均方根误差为 0.0334 mm, 最大误差为 $+0.096$ mm。测量精度远高于传统的机械手工测量法。

4 结论

将计算机视觉技术应用到轮胎几何参数测量, 提出一种基于计算机视觉的轮胎胎侧轮廓测量方法, 并开发了相应的测量系统。系统使用正交编码器和步进电动机控制器作为闭环运动控制单元; 步进电动机驱动器、光栅尺和精密位移台(包括步进电动机、丝杠和导轨)作为运动单元; CMOS摄像机和图像采集卡作为数据采集单元; 用Microsoft Visual Studio和Intel openCV编写了相应的测量软件 and 用户界面。与传统的人工测量方法相比, 该方法具有非接触、无磨损、高效率的优点, 且可以实现不同轮胎、不同工况下的胎侧轮廓测量比对。整个测量过程耗时短、强度低、精度高。试验结果表明, 系统的测量平均误差为 -0.0024 mm, 均方根误差为 0.0334 mm, 最大误差为 $+0.096$ mm。系统测量精度可达 ± 0.1 mm, 远高于传统机械手工测量的 ± 1 mm。

参考文献:

- [1] 张益昕. 基于计算机视觉的大尺度三维几何尺寸测量方法及应用[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [2] 周义仁, 殷勇辉. 轮胎外径和内径视觉测量系统[J]. 微计算机信息, 2010(7): 104-105.
- [3] 许宁. 线结构光光条图像处理研究方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.

- [4] 张广军. 视觉测量 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 5.
- [5] Rafael C G, Richard E W. 数字图像处理 [M]. 2版. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [6] 李杰. 基于激光三角法检测轮胎表面形貌 [D]. 长春: 长春理工大
- 学, 2009.
- [7] 贺俊吉, 张广军. 结构光三维视觉检测中光条图像处理方法研究 [J]. 北京航空航天大学学报, 2003 (7): 593-597.
- 收稿日期: 2015-09-26

Measurement System for Tire Profile under Load Based on Computer Vision Technology

WANG Guolin¹, ZHOU Dawei¹, ZHAO Fan¹, ZHANG Jing²

(1. Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. Aeolus Tire Co., Ltd, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: A measurement system for tire profile under load was developed based on computer vision technology. The measurement system consisted of CMOS cameras, laser sensors, grating rulers and control box. By using the 3D space coordinate of sidewall profile, the sidewall profile of the tire under load was precisely reconstructed, and a fast measurement of geometric parameters of tire profile was achieved. The measurement accuracy of the system was ± 0.1 mm. Compared with traditional artificial measurement, this system showed advantages of non-contact, non-abrasive and high-efficiency.

Key words: tire; profile under load; computer vision; precise measurement

一种用于橡胶材料混炼的搅拌装置

中图分类号: TQ330.4⁺3 文献标志码: D

由苏州华东橡胶工业有限公司申请的专利 (公开号 CN 104493997A, 公开日期 2015-04-08) “一种用于橡胶材料混炼的搅拌装置”, 涉及的搅拌装置包括能够绕自身轴线方向转动并且水平设置在混炼机筒内的搅拌轴、沿着搅拌轴长度方向螺旋缠绕在搅拌轴外周的搅拌桨以及位于料盖上方用于向上提升或向下推送料盖上下移动的升降机构。其中, 混炼机筒具有向上敞开的添料口, 添料口设有料盖, 料盖包括位于上部的盖体、与盖体一体设置并能够自添料口伸入混炼机筒内的塞头, 塞头下端面能够与混炼机筒内物料相接触。该搅拌装置结构简单, 一方面可在搅拌桨的搅动下实现物料的搅拌, 另一方面通过塞头压紧搅拌机筒内的物料, 可防止物料分散, 使搅拌更加均匀, 从而确保成品质量。

(本刊编辑部 赵敏)

一种橡胶喂料机

中图分类号: TQ330.4⁺4 文献标志码: D

由天津市靖隆纺织橡胶有限公司申请的专利

(公开号 CN 104511980A, 公开日期 2015-04-15) “一种橡胶喂料机”, 涉及的橡胶喂料机包括机身主体、底座、电动机和皮带轮。机身主体呈倒梯形, 顶部呈开口状; 机身主体与底座通过滚轴连接; 机身主体底部设有出料口, 出料口与电动机通过皮带轮连接; 机身主体内壁设有螺纹。该设备结构简单, 能够做到均匀给料, 使橡胶热熔均匀, 从而保证后续能够生产出质量均匀的胶体。

(本刊编辑部 赵敏)

一种双密度快速硫化橡胶胶料

中图分类号: TQ336.7 文献标志码: D

由天津市富华皮革制品有限公司申请的专利 (公开号 CN 104479179A, 公开日期 2015-04-01) “一种双密度快速硫化橡胶胶料”, 涉及的胶料配方为: 天然橡胶 30~40, 顺丁橡胶 30~40, 氯丁橡胶 40~60, 炭黑 40~60, 氧化锌 5~8, 氧化镁 3~5, 软化剂 15~25, 防老剂 3~5, 阻燃剂 15~25, 中速促进剂 1~2, 硫黄 0.6~0.8。该胶料用于皮鞋生产可实现快速硫化, 保证皮鞋的各项物理性能以及耐油和阻燃性能。

(本刊编辑部 赵敏)