

# 微热弯成形的微位移计算机视觉测量方法

孙林林<sup>1</sup> 李伯全<sup>1</sup> 蔡孝燕<sup>1</sup> 许桢英<sup>1</sup>

## 摘要

为实现微热弯成形系统中微位移的高精度测量,构建了微位移计算机视觉测量系统.应用 Matlab 编写摄像机标定程序并计算摄像机的内外参数,利用 OpenCV 对被测对象的图像进行灰度化、二值化和 Canny 边缘提取,采用序贯相似性检测算法(SSDA)进行模板匹配,实现了热弯曲成形过程中模具与工件位置微位移的实时在线检测.实验结果表明,该系统对微位移的测量具有操作简单、高效的特点.

## 关键词

微位移;视觉测量;Canny 边缘检测;序贯相似;OpenCV(计算机视觉开放库)

中图分类号 TP391.41

文献标志码 A

## 0 引言

微型化使得微器件和微构件在精度、热变形、振动和速度等方面具备更优异的性能和功能,在微电子、医疗生物工程、航空航天、军事和民用等行业应用广泛,同时也对传统的检测方法提出了挑战.计算机视觉测量技术把图像当做检测和传递信息的手段或载体加以利用,从被测对象的图像中提取有用的信息,获得所需数据,具有非接触、高精度、自动化、动态范围大和成本低廉等优点,在一定程度上能够满足微加工领域的检测要求.

本文在构建微位移计算机视觉测量系统的基础上,应用 Matlab 进行摄像机标定,结合 OpenCV 软件,采用 Canny 算法和 SSDA(序贯相似性检测算法)进行边缘提取和模板匹配,实现微弯曲成形过程中模具与工件位置微位移的实时高精度在线检测.

## 1 系统总体结构

微位移计算机视觉测量系统主要由被测对象、维视 MV-VS130FC/FM 数字摄像机、图像采集卡、计算机等组成,如图 1 所示.其中:维视 MV-VS130FC 数字摄像机的分辨率为  $1\ 280 \times 1\ 024$  ( $1\ 310\ 720$  个像素),像素尺寸  $4.65\ \mu\text{m} \times 4.65\ \mu\text{m}$ ;MV-300 专业图像采集卡拥有 10 位 A/D 处理,图像采集分辨率为  $756 \times 576$ .



图 1 微位移计算机视觉测量系统结构框

Fig. 1 Block diagram of micro-displacement measurement of computer vision system

收稿日期 2011-07-20

资助项目 国家自然科学基金(508050-69);中国博士后基金(20090451174)

## 作者简介

孙林林,女,硕士生,研究方向为机器视觉及其测量技术. erxi\_ao@126.com

李伯全(通信作者),男,教授,博士生导师,主要从事网络化测试系统及现代仪器的研究工作. libq@ujs.edu.cn

## 2 摄像机标定与图像处理相关算法

### 2.1 摄像机标定

摄像机标定首先要选择合适的摄像机模型,确定内外部参数.摄像机模型以针孔模型为基础,引入透镜的径向畸变和切向畸变.在该模型中,将空间点  $P$  在空间坐标系中的坐标值  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$  变换为摄像机坐标系中的坐标值  $P_c(X_c, Y_c, Z_c)$ ,然后在针孔模型下进行规范化投影,得到归一化的坐标值  $P_n(x, y)$ ,再引入透镜的畸变<sup>[1-2]</sup>,

得到规范化坐标值  $P_d(x_d, y_d)$ , 最后转换为图像平面上像素坐标系中坐标值  $P_p(u, v)$  [2]:

$$\begin{cases} u = f_x x_d + u_0, \\ v = f_y y_d + v_0. \end{cases} \quad (1)$$

其中  $f_x = f \cdot S_x / d_{px}$ ,  $f_y = f / d_{py}$ ,  $f$  为摄像机的有效焦距,  $S_x$  为比例因子, 用来适应在计算机图像水平方向上取样带来的种种不确定因素,  $d_{px}$ 、 $d_{py}$  分别为计算机图像在水平方向、垂直方向上相邻两像素之间的有效距离 (mm/pixel),  $(u_0, v_0)$  是基准点 (通常在图像中心)。

## 2.2 Canny 边缘提取算法

John Canny [3] 于 1986 年提出了关于边缘检测算子的 3 个最佳准则。

1) 信噪比准则. 即丢失真实边缘检测的概率要低, 同时将非边缘点误判为边缘点的概率也要低。

2) 定位精度准则. 即通过执行检测而得到的边缘上的点应该和实际边缘上的点最相近。

3) 单边缘响应准则. 即要求每个边缘的响应是唯一的, 得到的边缘密度宽度是单像素的。

基于以上 3 个判断准则, Canny 推导出了 1 种最佳边缘检测算法, 称为 Canny 算法 [3], 主要包括: 一条边界的初始点选取; 跟踪准则, 也就是阈值设定问题; 可能的边界点选取。

## 2.3 SSDA 模板匹配算法

模板匹配法是图像匹配方法中的一种, 其基本原则是通过相关函数来计算模板在被搜索图中的坐标位置. 设模板  $T$  叠放在搜索图  $S$  上平移, 模板覆盖下为子图  $S^{i,j}$ ,  $(i, j)$  为这块子图左上角像点在  $S$  图中的坐标 (参考点). 搜索图的大小为  $N \times N$ , 模板的大小为  $M \times M$ . 直接用相关算法求匹配的计算量很大, 而序贯相似性检测 (Sequential Similarity Detection, SSDA) 算法则可大大减少计算量. 该算法实现步骤如下 [4].

1) 定义绝对值误差

$$\varepsilon(i, j, m_k, n_k) = |S^{i,j}(m_k, n_k) - S(i, j) - T(m, n) + T|. \quad (2)$$

其中:  $S(i, j) = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M S^{i,j}(m, n)$  为模板覆盖下的搜索子图的像素平均值,  $T = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M T(m, n)$

为模板位图像素的平均值。

2) 在子图  $S^{i,j}(m, n)$  中随机选取像素点, 计算它同  $T$  中对应点的误差值  $\varepsilon$ , 然后把这点的差值同其

他点对的差值累加起来, 当累加  $R$  次误差超过阈值  $T_k$ , 则停止累加, 并记下累加次数  $R$ , 定义 SSDA 的检测曲面为

$$I(i, j) = \left\{ R \mid \min_{1 \leq R \leq m^2} \left[ \sum_{k=1}^r \varepsilon(i, j, m_k, n_k) \geq T_k \right] \right\}. \quad (3)$$

3) 把  $I(i, j)$  值最大的点定为匹配点, 因为在这一点上需要很多次累加才能使总误差  $\sum \varepsilon$  超过  $T_k$ 。

## 3 系统软件设计

### 3.1 图像采集模块设计

计算机视觉资源开放库 (Open Source Computer Vision) OpenCV 是由一系列 C 函数和少量 C++ 类构成, 有开放 C 源码 [5]、基于 Intel 处理器指令集开发的优化代码、统一的结构和功能定义, 具有强大的图像和矩阵运算能力, 方便灵活的用户接口等特点, 可以直接应用于很多领域, 是二次开发的理想工具. 微热弯成形计算机视觉微位移测量的软件设计包括图像采集模块和图像处理模块的设计。

图像采集模块利用 OpenCV 的图像处理库 CvCam, 实现对 USB 接口的视频设备驱动及实时视频帧捕捉. CvCam 可以在 Windows 下做动态链接库, 也可以在 Linux 下作为共享库, 并提供了简单易用的读写视频 API、处理视频帧和结果获取. 通过 CvCam 的函数, 就可以实现从 USB 端口读取摄像头的视频流并显示到屏幕上。

基本步骤为: 1) 定义一个 CvCapture 类的对象; 2) 通过 cvCaptureFromCAM 函数获取摄像头视频流; 3) 通过 cvQueryFrame 函数循环捕捉视频流的帧并存入 IplImage 类定义的指针中; 4) 将捕获的视频帧通过地址传送并实时显示到 MFC 控件上。

### 3.2 图像处理模块

图像处理的第 1 步是将导入的图片进行灰度变换和二值化处理, 将所需的目标部分从图像背景中脱离出来; 第 2 步是利用 Canny 算法进行边缘提取; 第 3 步是模板匹配. SSDA 算法的流程如图 2 所示。

## 4 实验与结果

### 4.1 实验步骤

1) 采用激光打印机打出 5 行 8 列、大小 10 mm 的黑方格纸作为标定模板。

2) 先求解出摄像机的内外参数, 再用最大似然法建立目标函数, 利用 Levenberg-Marquardt 算法精确求解和优化摄像机所有内、外参数和畸变系数。

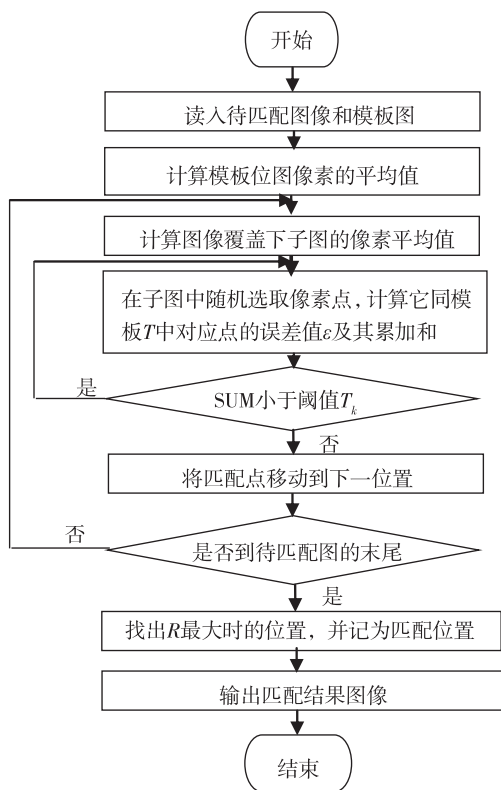


图2 SSSA 算法流程

Fig. 2 Flow chart of SSSA algorithm

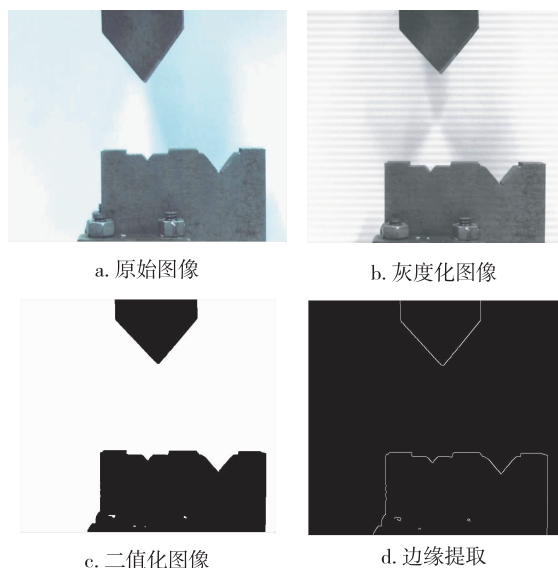


图3 图像处理效果

Fig. 3 Image processing results

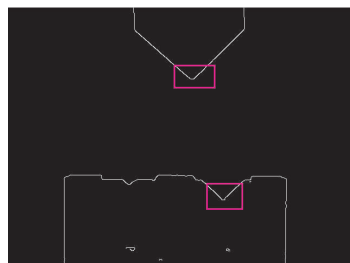


图4 模板匹配效果

Fig. 4 Template matching result

3) 由 OpenCV 的 GET-IMAGE 获取原始图像, 见图 3a.

4) 由 OpenCV 的 BMP-GRAY 进行图像灰度化处理, 见图 3b.

5) 由 OpenCV 的 BMP-THRE 将图像二值化, 见图 3c.

6) 由 OpenCV 的 BMP-EDGE 提取图像边缘, 见图 3d.

7) 采用序贯相似性检测算法, 由 OpenCV 进行模板匹配, 如图 4 所示.

#### 4.2 实验数据

通过提取的黑白格标定板角点像素坐标可以得到摄像机参数的三维坐标值.

焦距  $f_c$  为  $[716.542777 \quad 711.24402]$  (mm/pixel);

基准点  $(u_0, v_0)$  为  $[322.33944 \quad 196.08830]$  (mm/pixel);

畸变系数为  $[-0.312837 \quad 3.00861 \quad 0.00468658 \quad -0.00449884]$ .

利用 OpenCV 对图像进行处理, 得到工件移动 60 个像素, 其对应工件移动的距离为 1.6 cm.

#### 5 总结

微热弯成形的微位移计算机视觉测量应用 Matlab 编写摄像机标定程序并计算摄像机的内外参数, 利用 OpenCV 进行图像的灰度化、二值化及 Canny 边缘检测的过程, 在此基础上进行 SSSA 算法的模板匹配, 较好地实现了微热弯曲成形过程中模具与工件位置微位移的实时在线检测.

#### 参考文献

##### References

[1] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334

[2] Jean-Yves Bouguet. Camera calibration toolbox for Matlab [EB/OL]. [2010-06-09]. [http://www.vision.caltech.edu/Bouguetj/calib\\_doc/](http://www.vision.caltech.edu/Bouguetj/calib_doc/)

[3] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine

- Intelligence, 1986, 8(6):679-698
- [ 4 ] Barnea D I, Silverman H F. A class of algorithm for fast digital image registration [ J ]. IEEE Transactions on Computers, 1972, C-21(2):179-186
- [ 5 ] 刘瑞祯,于仕琪. OpenCV 教程:基础篇[ M ]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2007  
LIU Ruizhen, YU Shiqi. OpenCV tutorial: Elementary volume[ M ]. Beijing: Beihang University Press, 2007

## Micro-displacement measurement of computer vision for micro-bending forming

SUN Linlin<sup>1</sup> LI Boquan<sup>1</sup> CAI Xiaoyan<sup>1</sup> XU Zhenying<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013

**Abstract** The focus of the work is to build a micro-displacement measurement of computer vision for micro-bending forming with high measuring accuracy. Matlab was utilized to write camera calibration program, and the internal and external parameters of the camera was calculated. The method made use of OpenCV to conduct gray level transformation, image binary, Canny edge extraction, and adopted sequential similarity detection algorithm to carry out template matching. Results indicate that the measurement method of micro-displacement is simple in operation with high efficiency.

**Key words** micro-displacement; vision measurement; Canny edge detection; sequential similarity; OpenCV (Open Source Computer Vision)