

线阵相机的图像校正

高俊钊 雷志勇 王泽民

(西安工业大学电子信息工程学院, 陕西 西安 710032)

摘要 针对在零件的高精度尺寸测量中,线阵 CCD 相机的图像采集与零件运动的同步问题进行研究。对采用伺服电机和运动控制卡的同步方法进行了分析,提出了采用普通异步电机与编码器组合的控制方法;研究了运动控制系统和相机采集线率之间的关系,设计了基于非等步长的同步控制方式。根据线阵相机图像采集的特点,以标准圆形目标作为标定目标,提取了芯片方向和运动方向的直径参数,实现了物像关系和校正插值系数标定;设计了线性插值算法,可以对任意形状的目标成像进行校正。实验结果表明,该方法简单易行,成本低,可以有效地校正线阵 CCD 由于运动造成的拉伸变形。

关键词 成像系统;线阵相机;图像校正;同步控制;插值

中图分类号 TP391.41

OCIS 150.0150 140.1488

文献标识码 A

Image Correction of Linear Array Camera

Gao Junchai Lei Zhiyong Wang Zemin

(School of Electronic Information Engineering, Xi'an Technological University,
Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract For high precision size measurement of parts, the synchronization of linear array CCD camera image acquisition and parts movement is researched. The synchronization method using servo motor and motion control card is analyzed, and a control method is proposed with asynchronous motor and encoder. The relationship between the motion control system and the camera line rate is studied, and synchronization control of unequal step is designed. According to image acquisition characteristics of linear array camera, diameter parameters on chip direction and motion direction of a standard circular target is extracted, realizing calibration of object image ratio and interpolation correction factor. A linear interpolation algorithm is designed that any shape of the target imaging can be corrected according to correction factor. Experimental results show that the method can effectively correct image deformation of tension for linear array CCD with low cost.

Key words imaging systems; linear camera; image correction; synchronization control; interpolation

1 引言

由于密封件为非刚性材质,在接触力的作用下会变形而产生很大的测量误差,所以只能用非接触方法进行检测。在密封件大批量生产中,检测系统必须具有实时性,而且内外径有较高精度要求,因此,还需对零件的几何尺寸进行 100% 的检测以保证零件的产品质量。传统的检测技术和设备难以在精度、效率及自动化程度等方面完全满足要求^[1]。机器视觉检测技术具有非接触、柔性好、精度高、速度快、自动化和智能化水平高等优点,可以很好地满足零件的检测要求^[2]。

针对密封件尺寸高精度检测需求,本文基于机器视觉原理,采用线阵工业相机扫描获取待检零件图像,根据相机的扫描特性提出了运动控制参数的计算方法和图像校正方法,实现了对采集图像的校正和测量。

2 系统构成

运动物体在线视觉测量系统的结构和原理如图 1 所示,主要包括零件运动控制系统、图像采集系统、传

收稿日期: 2010-03-12; 收到修改稿日期: 2010-04-26

基金项目: 陕西省教育厅产业化(03JC29)和陕西省教育厅专项(06JK275)资助课题。

作者简介: 高俊钊(1971—),女,博士研究生,主要从事计算机视觉与模式识别等方面的研究。E-mail: gaomuyou@126.com

输机构和照明系统。零件运动控制系统包括电机驱动器、两相异步交流电机。图像采集系统包括图像采集卡、线阵工业相机、镜头和触发传感器。照明系统包括发光二极管(LED)光源和光源控制器。

当传输带上的物体运动到触发传感器(光电或磁等)的作用区域,会产生一个脉冲指示运动物体到达,触发采集卡的光耦输入端,它立刻产生一个触发信号来相机复位,零件会在照明下成像,接着会从相机读取图像。

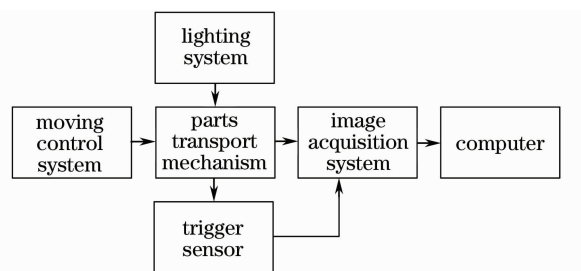


图1 机器视觉系统在线检测示意图

Fig. 1 Online detection schematic diagram of machine vision system

3 运动控制

如果相机采集与传输带运动采用异步的方式,需要相机采集是匀速的,传输带运动是匀速的,才能对运动造成的畸变采用插值进行恢复,而实际交流电机带动的传输机构就不可能是匀速的。

让传输带匀速运动很难做到,大部分基于线阵 CCD 的机器视觉检测系统采用伺服或步进电机和运动控制卡对传输带的运动进行等步长同步精确控制^[3](即传输带运动一行的距离,相机同步采集一行的距离),成本比较高,而且需要做标定以确定控制卡输出的脉冲数与相机的采集线率之间的关系,使输出图像不失真^[4]。控制卡输出的脉冲数是一个近似数^[5],从而获取的图像存在略微失真,或者拉伸变形,或者压缩变形,所以等步长的完全同步很难做到。

采集图像的失真是不可避免的^[6],本文提出采用普通电机和编码器,通过编码器的角速度脉冲串控制相机同时采集。采用非等步长的同步方式,同步以后,步长不一定相等,但各自的步长都是固定的,结果他们之间相对是匀速的,从而对运动造成的畸变采用插值进行恢复。传输带运动与相机采集同时进行,步长近似相等即可,相对匀速采集拉伸变形图像,然后设计特定的标定板,对采集的拉伸图像进行校正,从而获取不失真的图像,成本低,基于软件的校正,易操作。

3.1 运动速度控制

传输带运动速度是根据检测指标和机械结构固定参数而定的^[7]。如果相机的视场范围为 F ,相机的像元数为 n_1 ,传输带滚筒直径为 d ,检测速度为 n_2 ,相机的采集线率为 n_3 ,则传输带线速率为

$$v = n_3/n_1 \times F, \quad (1)$$

滚筒转数为

$$n_4 = 60v/(\pi d). \quad (2)$$

3.2 运动的匀速性控制

旋转编码器是机器视觉系统的一个重要组成部分,可对成像物体运动和相机行频之间进行同步^[8]。旋转编码器用光脉冲测量机械轴的角速度。机械轴主要有两种配置方式:主动轮连接方式和从动轮连接方式。主动轮连接方式的优点在于可以通过改变主动轮的直径调整图像运动方向的空间分辨率,但随着时间的延长,存在打滑、摩擦轮直径改变等不确定因素,影响对误差的分析,造成位移测量误差。从动轮连接方式可精确测量旋转速度,但调整图像运动方向的空间分辨率灵活性较差。对于工件检测,检测的指标在已确定的情况下,不再需要改变空间分辨率,所以选择从动轮连接方式。

3.3 同步控制的编码器分辨率

传输带滚筒直径 d ,则需要编码器的分辨率为每转 n_5 个脉冲,则: $F/n_1 = (\pi d)/n_5$,通过求解可得

$$n_5 = \frac{n_1 \times \pi d}{F}, \quad (3)$$

为了保证运动方向的分辨率,编码器的分辨率要稍大于计算值,如果大得太多,图像会超出视场。

3.4 使用编码器存在的问题

在实际应用中,机械传动装置的运动速度很难达到恒定,在光照固定的情况下,由于行积分时间不同,图像会产生行条纹。为杜绝此现象,可使用 PRIN(pixel reset in)信号。旋转编码器的输出信号输入到图像采集卡产生一固定积分时间,其时序如图2所示。

4 图像校正

根据上述的控制方式和线阵相机扫描的特点,相机芯片示意图如图3所示,在芯片方向的成像倍率是确定的,在运动方向的成像是均匀的,放大倍率也是确定的,但芯片方向的成像倍率与运动方向的放大倍率是不同的,所以设计特定的标定板:标准圆形目标,不管怎样放置,芯片方向的直径与运动方向的实际直径相等,扫描成像以后,可以根据这个特点计算插值系数,让运动方向的放大倍率与芯片方向的成像倍率相同。根据插值系数就可以对任意形状物体的成像进行校正。

4.1 校正插值系数计算

为了方便校正插值系数的计算,采用尺寸精确已知的圆形目标标定板,对其进行成像,运动相对相机采集来说是匀速的。设置合适的固定阈值对图像进行二值化,搜索上下左右4个点,计算运动和芯片方向直径。利用运动方向直径像素个数 N_1 与芯片方向的直径像素个数 N_2 对运动造成的插值进行校正插值系数计算

$$f_a = N_2/N_1. \quad (4)$$

校正插值系数一般设计小于1,因为很难做到与图像采集等步长,所以可以调整传输带运动比完全同步时稍慢一些,慢的程度以测量的最大工件边缘不超出视场为准,让相机过采样,以保证信息不会丢失。相机过采样示意图如图4所示,有交叉的地方得到了重复采样,得到的图像将交叉的地方展开就得到了在运动方向上拉伸的图像。

4.2 线性插值

插值方法有最近邻插值、双线性插值等。最临近插值算法是一种最简单的图像缩放算法,但效果也是最不好的,放大后的图像有很严重的马赛克,缩小后的图像会严重失真;而双线性内插值算法是一种比较好的图像缩放算法,它充分利用了源图中虚拟点四周的四个真实存在的像素值,共同决定目标图中的一个像素值,因此缩放效果比简单的最邻近插值要好很多。

扫描一个检测密封件,由于过采样,运动方向会出现拉伸,按照插值系数对运动方向的像素进行插值运算

$$\begin{cases} i + u = m/f_a, \\ j = n \end{cases}, \quad (5)$$

即可得到以芯片方向像素点间距为基准的校正图像。这里用插值的目的是对运动方向进行缩小。根据线阵扫描相机的特点,设计线性插值算法,充分利用源图中虚拟点的运动方向两个真实存在的像素值,共同决定目标中的一个像素值。

线性插值,对于一个目标像素坐标 (m, n) ,运动方向的坐标通过反向变换(5)式得到对应的原图像坐标为 $(i + u, j)$ 其中 i 为坐标的整数部分, u 为坐标的小数部分,则目标像素的值 $f(m, n)$ 可由原图像中坐标为 (i, j) 和 $(i + 1, j)$ 所对应的两个像素的值决定

$$f(m, n) = (1 - u)f(i, j) + uf(i + 1, j), \quad (6)$$

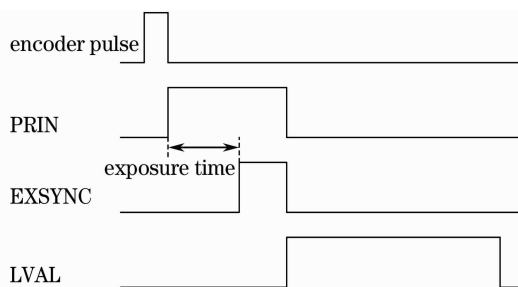


图2 PRIN控制曝光时序

Fig. 2 Exposure timing controlled with PRIN

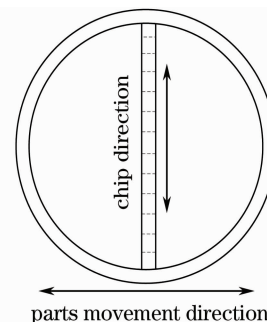


图3 相机芯片示意图

Fig. 3 Diagram of camera chip

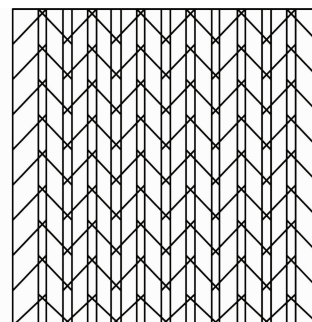


图4 相机过采样示意图

Fig. 4 Diagram of camera over-sampling

5 实验结果与分析

线阵相机像元素为 2048, 根据工件检测的速度指标: $n_2 = 2 \text{ s}^{-1}$, 设置相机采集线率为 $n_3 = 5000 \text{ l/s}$, 以工件到来时的触发信号为采集开始信号, 一幅图像的采集行数为 2048, 与相机的分辨率相同, 使图像成正方形。

实际传输装置中, 传输带滚筒直径: $d = 50 \text{ mm}$, 电机转速 $0 \sim 100 \text{ r}$ 可调。根据工件检测的尺寸范围为 $0 \sim 100 \text{ mm}$, 合理设置相机的视场为 $F = 115 \text{ mm}$ 。根据以上分析, 可确定编码器的分辨率, 计算过程如下:

$$\text{传输带线速率为 } v = \frac{n_3}{n_1} \times F = 280.8 \text{ mm/s}$$

$$\text{滚筒转数为 } n_4 = \frac{60v}{\pi d} = 107 \text{ r/min}$$

$$\text{编码器的分辨率每转脉冲数为 } n_5 = \frac{n_1 \times \pi d}{F} = 3562$$

为了不降低相机的分辨率, 让相机过采样, 选取编码器分辨率为每转 3600 个脉冲即可。

在以上参数的设置控制下, 采集一幅标准圆图像, 经过图像预处理、阈值化分割、边缘提取等图像处理, 计算运动方向和芯片方向的目标长度与宽度, 可得到插值系数; 通过标准圆的实际直径和芯片方向的目标宽度, 可得到物像比例系数。

用千分尺测量圆形工件的直径为 36.67 mm , 作为工件的实际值。采用上述方法建立的系统和插值校正算法, 对圆形工件进行采集、校正与测量, 重复 8 次的直径测量结果及与均值误差如表 1 所示, 则测量直径均值为 36.68 mm , 测量列单次测量的标准差为 0.04 mm , 均值的标准差为 0.015 mm , 因为测量列的测量次数较少, 均值的极限误差按 t 分布计算, 显著度按 1% 计算, 则均值的极限误差为 0.05 mm , 所以测量均值的精度为 0.05 mm 。

由于在线实际测量工件时都是单次测量, 测量误差只能与高一级以上精度的测量值做比较, 得到实际误差, 假设单次测量误差为正态分布, 当显著度取 1% 时, 置信系数取 2.58 , 则测量列单次测量的极限误差如表 1 所示, 所以单次测量值的精度高于 0.2 mm 。

表 1 测量结果

Table 1 Measurement result

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Diameter /mm	36.61	36.63	36.72	36.67	36.7	36.71	36.68	36.73
Mean error /mm	-0.07	-0.05	+0.04	-0.01	+0.02	+0.03	0	+0.05
Actual error /mm	-0.06	-0.04	+0.05	0	+0.03	+0.04	+0.01	+0.06
Limit error /mm	-0.15	-0.10	+0.13	0	+0.08	+0.10	0.03	+0.15

6 结 论

由于线阵 CCD 芯片可以达到很高的分辨率, 线阵 CCD 扫描测量系统在工业生产过程中应用越来越广泛。实验表明, 利用本文提出的方法所建立的系统成本低, 简单易行, 提出的非等步长同步控制和插值校正算法可有效地对线阵 CCD 由于运动造成的变形进行校正, 而且达到了速度检测指标。

参 考 文 献

- Zhang Daoyong. Study on scanning technology of large size based on linear CCD[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2005
张道勇. 基于线阵 CCD 的大幅面扫描技术研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2005
- Huang Zheng, Song Huansheng, Wang Guoqiang. Traffic information collection and detection system based on line-array CCD camera[J]. *Video Engineering*, 2007, **31**(12): 87~89
黄 征, 宋焕生, 王国强. 基于线阵 CCD 摄像机的交通信息采集和检测系统[J]. *电视技术*, 2007, **31**(12): 87~89
- Ma Dengji, Zhu Shan'an, Wang Changjun. Application of linear CCD in high precision diameter measuring system[J]. *Computer Measurement & Control*, 2006, **14**(2): 175~176

- 马登极, 朱善安, 王长军. 线阵 CCD 在高精度测径系统中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2006, **14**(2): 175~176
- 4 Liu Lishuang, Zhang Yao, Lu Huiqing *et al.*. Online measurement system for glass thickness based on CCD[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2006, **19**(3): 652~654
- 刘力双, 张挑, 卢慧卿等. 基于 CCD 的玻璃厚度在线测量系统[J]. 传感技术学报, 2006, **19**(3): 652~654
- 5 Miao Shidi, Qiao Peili, Lin Kezheng *et al.*. Research of method in the precise measurement based on line scan CCD[J]. *Journal of Harbin University of Science and Technology*, 2006, **11**(2): 1~3
- 苗世迪, 乔佩利, 林克正等. 基于线阵 CCD 的精确测量方法研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2006, **11**(2): 1~3
- 6 Xu Xiaoqiu, Qin Yufang, Huang Jie *et al.*. Characteristic of linear CCD image and its applicability of identify arithmetic[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2006, **27**(2): 196~199
- 徐晓秋, 秦玉芳, 黄劫. 线阵 CCD 图像特点及识别算法适应性研究[J]. 半导体光电, 2006, **27**(2): 196~199
- 7 Zhu Henian, Zhang Ziliang, Chang Ying *et al.*. Improvement of the measurement precision of light beam center by linear CCD[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2006, **27**(3): 216~220
- 朱鹤年, 张子良, 常纓等. 提高线阵 CCD 测量光束中心位置精密度的方法[J]. 计量学报, 2006, **27**(3): 216~220
- 8 Qian Junmin, Dai Mingyuan. Design and implementation of guide control system based on linear CCD[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2007, **30**(2): 169~171
- 钱军民, 戴明远. 基于线阵 CCD 的纠偏系统设计与实现[J]. 电子测量技术, 2007, **30**(2): 169~171