

滚动轴承装配缺陷视觉检测系统的算法研究

叶宁 李云峰 王恒迪

河南科技大学

摘要:针对轴承在装配过程中出现的漏装铆钉、滚动体的现象,提出了一种基于机器视觉的检测方法,并设计开发出一套滚动轴承装配缺陷视觉检测系统。系统采用 TMS320DM642 作为主处理器;检测系统的算法采用 C 语言设计。该系统通过对采集到的图像进行预处理、中心定位,根据图像特征进行装配缺陷的判定。

关键词:滚动轴承, 缺陷检测, TMS320DM642, 图像处理

Research on Algorithm of Rolling Bearing Assembly Visual Defect Detection System

Ye Ning Li Yunfeng Wang Hengdi

Abstract: Aiming at the phenomenon of the leakage with rivets and rolling elements in the process of assembling rolling bearings, a checking method based on the visual detection is bring forward, and a set of roller bearing assembly visual defect detection system is developed. The TMS320DM642 is used as the main processor of the system and the C language design is used as the algorithm of the detection system. Through pretreating the collected images and the center locating, the assembly defects of the bearing is estimated under the characteristics of the images.

Keywords: rolling, defect detection, TMS320DM642, image processing

1 引言

轴承在装配过程中容易出现漏装滚动体、铆钉的现象。在轴承生产企业,普遍采用人工目测法和称重法来进行轴承装配缺陷的检测,这种传统的人工检测方法效率低且准确性差。虽然已有个别企业采用由 CCD 摄像机、图像采集卡以及专用工控机组成的机器视觉系统进行检测,但这种基于 PC 的检测系统成本较高且可维护性差,难以普遍推广。本文针对滚动轴承装配缺陷检测的技术需求特点,利用 TI 公司的 TMS320DM642 开发出一套基于 DSP 的嵌入式视觉检测的硬件系统。该硬件系统通过集成图像编解码芯片,可在一块板卡上实现图像的采集、处理和分析判断功能,与采用专用工控机和图像采集卡组成的检测系统相比,不仅降低了成本,而且提高了系统的可靠性和可维护性。

2 硬件总体结构

检测系统的硬件部分为自主设计的图像采集与处理板卡,处理器采用 TI 公司的 TMS320DM642 芯片。该芯片是 TI 公司推出的一款面向数字多媒体应用的 DSP,它在 TI 的 C64x DSP 内核基础上进一步集成了完善的视频、音频输入、输出接口,具有极强的处理性能、高度的灵活性和可编程性,特别适用于基于数字视频/图像处理的高速 DSP 应用领域^[1]。

检测系统的硬件部分主要由以下几个模块组成: TMS320DM642 处理器、程序和数据存储器、视频编码和解码器、网络接口^[2,3]。系统结构如图 1 所示。

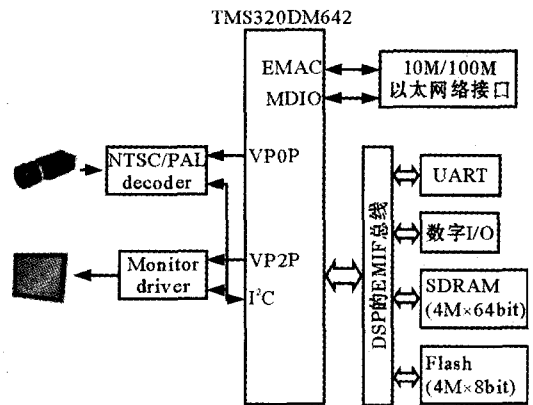


图 1 系统结构图

3 软件算法设计

软件设计在 TI 提供的开发环境 CCS 中进行,图像的处理和判断的核心算法程序采用 C 语言编程。图像处理过程见图 2。



图 2 图像处理和判断过程

3.1 图像的预处理

在工业现场,由于受到周围环境的影响,采集到的图像会有噪声,所以当摄像头采集到的图像到达

内存以后,首先需要对图像进行预处理,之后才能进行判断。预处理主要包括滤波和图像阈值分割^[4]。图3为采集到的原始轴承图像。从图中可以看到,由于噪声的影响,有的保持架与轴承内外圈的间隙变的狭窄并且模糊,不利于后续分析和判断。

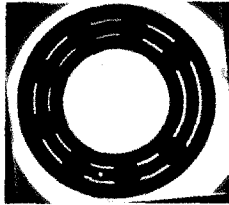


图3 系统采集到的原始轴承图像

(1)图像的滤波处理

经过对各种滤波算法进行比较和分析,最终确定用一种改进的中值滤波算法来对图像进行去噪声处理。改进的中值滤波过程为

- ① 选用合适的滤波窗,对图像数据加窗。取出窗口内的数据;
- ② 对窗口数据按灰度值进行排序,并求出其中值 $med\{x_k\}$;
- ③ 判断基准数据是信号,还是噪声。若是信号则不进行处理, $y_{i,j} = x_{i,j}$;若是噪声则取中值 $y_{i,j} = med\{x_k\}$ 。

按上述步骤将滤波窗移遍整个图像,完成对整个图像的滤波。在步骤3中,采用极值和门限的双重判断来识别信号与噪声,即在整个滤波窗中,如果中心点 $x_{i,j}$ 处的灰度值最大或者最小,并且中心点与滤波窗口灰度中值之差的绝对值大于某一门限值 T ,则认为中心点处灰度值为噪声,否则为有用信号。判别过程如式1所示。

$$x_{i,j} \in \begin{cases} \text{Noise} & x_{i,j} = \max(x_k) \text{ or } \min(x_k) \text{ and } |x_{i,j} - med(x_k)| > T \\ \text{Signal} & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 T 为判决门限值,实验验证当 $T = 20$ 时可获得较好的滤波效果。图4和图5分别为采用中值滤波及改进的中值滤波算法处理后的效果。由比较可知,采用改进的中值滤波能获得较好的滤波效果。可以看到轴承的保持架与内外圈的间隙变得明显,达到了滤波的目的。但是这种方法也有不足之处,从图5中可以看到图像中某些噪声点在处理后又得到了加深,以至于出现了一些“亮点”。不过这种“亮点”可以在随后的图像阈值分割中进行处理。

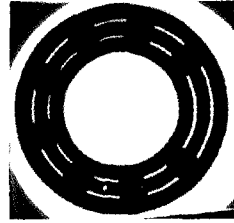


图4 采用中值滤波处理后图像

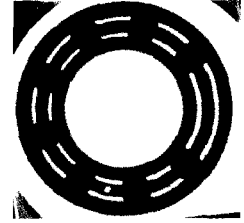


图5 采用改进的中值滤波处理后图像

(2)图像的阈值分割

阈值分割中阈值的选取非常重要,如果阈值选取不合理,可能导致滤波后目标区域中产生的“亮点”无法清除,从而变成图像的背景区域,这将直接影响随后判断的准确性。因此,经过对多种方法的比较实验,确定采用改进的最大类间方差法(Otsu法)^[4,5]来对图像进行阈值分割。

改进的 Otsu 法主要在阈值的选取方法上做了改进。假设 $f(x, y)$ 为 $M \times N$ 图像 (x, y) 点的灰度值,灰度级为 L ,不妨假设 $f(x, y)$ 的取值范围为 $[0, L-1]$,可记为 $G_L = \{0, 1, 2 \dots L-1\}$ 。设 $p(i)$ 为图像 $f(x, y)$ 中灰度级为 i 的频数,则灰度级 i 出现的概率为

$$p(i) = \frac{1}{M \times N} \sum_{f(x,y)=i} f(x,y) \quad i \in G_L \quad (1)$$

假设图像的分割阈值为 t ,则把图像分为两个区域:目标区域 O 和背景区域 B ,则

目标部分比例:

$$\omega_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} p(i) \quad (2)$$

背景部分比例:

$$\omega_1(t) = \sum_{t \leq i \leq L-1} p(i) \quad (3)$$

目标均值:

$$\mu_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} ip(i) / \omega_0(t) \quad (4)$$

背景均值:

$$\mu_1(t) = \sum_{t \leq i \leq L-1} ip(i) / \omega_1(t) \quad (5)$$

在改进的 Otsu 法中,引入了两类平均方差概念,用来度量像素内聚性的好坏。如下所示:

$$\overline{\delta_0^2}(t) = \frac{1}{\omega_0(t)} \sum_{0 \leq i \leq t} (i - \mu_0(t))^2 p(i) \quad (6)$$

$$\overline{\delta_1^2}(t) = \frac{1}{\omega_1(t)} \sum_{t \leq i \leq L-1} (i - \mu_1(t))^2 p(i) \quad (7)$$

于是有阈值 Th 的计算如下:

$$Th = \arg \max_{t \in G_L} \left[\frac{\omega_0(t)\omega_1(t)(\mu_1(t) - \mu_0(t))^2}{\overline{\delta_0^2}(t) + \overline{\delta_1^2}(t)} \right] \quad (8)$$

经过阈值分割的轴承图像如图6所示,采用改进的 Otsu 法达到了较好分割效果,并且有效祛除了滤波中产生的“亮点”。



图6 阈值分割后的轴承图像

3.2 轴承中心位置的确定

在判断之前首先需要确定轴承的中心位置,由于滚动轴承为轴对称结构,铆钉和滚动体都装配在确定半径的圆周上,因此确定轴承的中心位置有利于装配缺陷的判断。在本系统中,根据采集到的图像的实际情况,采用图7所示方法来确定轴承的中心:在采集到的图像中任取一个像素点 M (必须确保 M 点在轴承内圈的内部),然后依次向左、向右、向上、向下寻找到轴承内圈上的四个点 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 ,然后取 A_1A_2 中点的横坐标作为轴承中心位置 O 点的横坐标, B_1B_2 中点的纵坐标作为轴承中心位置 O 点的纵坐标。为了提高准确性,改变 M 点的位置重复计算三次,取其中相近的两组数据的平均值,最终确定轴承中心 O 点的坐标。

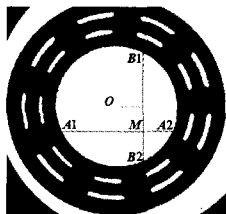


图7 轴承中心位置的确定

3.3 轴承装配缺陷的判定

装配缺陷是指轴承在装配过程中漏装了铆钉或者滚动体,因此对轴承是否存在装配缺陷的判定需要分两步来进行,即分别对铆钉和滚动体的缺失进行判定。

如图8所示,如果轴承漏装了铆钉,那么漏装了铆钉的部位在图像预处理后变成图像的背景部分,也就是像素为255的白色区域。

由于当轴承型号给定时,轴承上铆钉到轴承中心位置的距离也就确定,因此在判断是否漏装铆钉的过程中,可以用轴承的中心位置为圆心,以铆钉到轴承中心位置的距离为半径,在图像中搜索是否存在漏装铆钉的图像特征。

如图9所示,如果漏装了滚动体的话,处于滚动体两侧由轴承内外圈和保持架形成的两个独立的背

景区域就将连通成一个区域,在采集到的图像上可以看到:由漏装滚动体所形成的白色圆弧带的长度大于正常装配条件下两个滚动体之间的周向间隙所形成的圆弧带的长度,并且白色圆弧带的个数也要少于合格轴承应该有的白色圆弧带的个数。由此,不仅可以判断是否漏装了滚动体,也可以判断漏装滚动体的个数。



图8 铆钉漏装的判断



图9 滚动体漏装的判断

4 结语

本文提出了一种滚动轴承装配缺陷视觉检测系统算法的实现方法,该算法实现简单,可靠性高,图像处理时间短,完全能够满足工厂在线实时检测的需要。通过修改程序的参数和调整摄像头的高度,本系统可以实现对外径在10mm~80mm以内的多种型号滚动轴承装配缺陷的检测。笔者对本检测系统在工厂中的实际应用效果进行了统计,结果表明,本系统对有装配缺陷的轴承的识别率可以达到99%以上,检测效率和准确率都远远高于传统的人工检测方法。

参考文献

- 1 Texas Instruments. TMS320DM642 Video/Imaging Fixed-Point Digital Signal Processor. 2004
- 2 李方慧,王飞. TMS320C6000系列DSPs原理与应用. 北京:电子工业出版社. 2003
- 3 江思敏,刘畅. TMS320C6000 DSP应用开发教程. 北京:机械工业出版社. 2005
- 4 陆宗骥. C/C++图像处理编程. 北京:清华大学出版社, 2005
- 5 蔡梅艳. 改进Otsu法的目标图像分割. 电光与控制, 2007, 6: 118~119

第一作者:叶宁,硕士研究生,河南科技大学机电工程学院,471003河南省洛阳市

First Author: Ye Ning, Mechanical and Electrical Engineering institute, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China