

基于 CT 切片图像的虚拟测量

刘 晶

(华东理工大学 机械与动力工程学院, 上海 200237)

摘 要: 工业 CT 作为一种先进的无损检测手段,可以有效地检测零件的内外部结构情况,对扫描得到的工业 CT 图像进行二值化,将图像目标和背景分离,然后进行轮廓跟踪,识别出图像的外轮廓和内轮廓,并将内外轮廓数据拟合成样条曲线,最后进行虚拟测量。结果表明,该方法可以测量内外轮廓沿 x , y 方向以及任意方向的尺寸。

关键词: CT 切片;虚拟测量;无损检测;轮廓跟踪

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2019)02-0026-03

The Virtual Measurement Based on CT Image

LIU Jing

(School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: Industrial CT can effectively detect the parts in shape and appearance as an advanced nondestructive test method. A series of industrial CT images can be got after the part is scanned by industrial CT equipment. The industrial CT image is binary-coded, so the target and background are separated. Then the outer contour and inner contour are identified by contour tracking and the data of the outer contour and inner contour are fitted as spline curves. Finally, virtual measurements are used to get the dimensions of the outer contour and inner contour along the x direction, the y direction and the arbitrary direction.

Key words: CT slice; virtual measurement; nondestructive testing; contour tracking

目前,一些复杂零件成型精度比较低、加工质量不稳定、废品率很高,因此作为一种先进的无损检测技术,工业 CT 越来越受到关注。工业 CT 能够在不接触样件的情况下,无损快速地检测样件的内外部结构等^[1-5]。工业 CT 设备通过对零件的扫描,可以获得一系列切片图像,通过这些切片图像可以方便地观察到零件的内部形状、大小及空间位置,更好地了解零件结构。

改善工业 CT 检测中的虚拟测量精度主要有两种方式:一种是提高工业 CT 设备扫描系统的分辨率;另一种是提高虚拟测量时的图像算法精度。笔者采用某商用工业 CT 设备进行试验,因此硬件设

备是固定的,故主要通过改善软件的算法精度来提高虚拟测量的精度。

笔者提出了一种对 CT 图像进行虚拟测量的方法。该方法对工业 CT 获得的切片图像进行二值化处理,分离出图像中的目标和背景;再通过灰度值的差别进行轮廓跟踪,识别出切片图像的内外轮廓;然后,将内轮廓和外轮廓数据分别拟合成样条曲线;最后进行虚拟测量。

1 轮廓提取

为了更好地提取出工业 CT 图像轮廓,首先通过中值滤波对图像进行预处理,去除噪声,以避免轮廓的误提取。在去噪后,可进行图像二值化和轮廓边缘的提取。

图像二值化是图像分割的重要方法之一,可以直接将图像分类为物体和背景两部分。常见的二值化方法包括平均值法、迭代选择阈值法、一维 Otsu

收稿日期: 2018-06-17

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(222201714016)

作者简介: 刘 晶(1977—),女,讲师,博士,主要研究方向为 CAD/CAM,图形图像处理,逆向工程等

通信作者: 刘 晶, annaliu200077@163.com

法、二维 Otsu 法等。二维 Otsu 法是一种比较好的图像二值化方法,它保留了最多的有用信息,同时噪声较少。文章采用二维 Otsu 法^[6-7]选取合适的阈值对图像实现二值化。通过对工业 CT 图像的二值化,可以将物体和背景明确地区分开来。

区分出物体和背景后,通过八邻域追踪算法提取图像边缘,八邻域法的搜索顺序如图 1 所示。其具体步骤如下:

(1) 按从左到右,从上到下的方向扫描 CT 图像,找到第一个像素值为 1 的点 P_0 作为目标点,存储其坐标值。

(2) 从 P_0 点的 0 邻域点开始,逆时针方向搜索它的 8 邻域点的值,找到第一个像素值为 1 的点,存储其坐标值并记为 P_1 。 P_0 为 P_1 的前邻域点。

(3) 从 P_1 点的 0 邻域点开始,逆时针方向搜索它的 8 邻域点的值,找到第一个像素值为 1 的点(该点不能是 P_1 的前邻域点),存储其坐标值并记为 P_2 。依此类推。

(4) 直到再次遇到 P_0 点,跟踪结束。第一个轮廓边缘结束。

(5) 按从左到右,从上到下的方向扫描 CT 图像,找到的第一个像素值为 1 的点 Q_0 作为目标点,存储坐标值。 Q_0 是新的轮廓起点。

(6) 从 Q_0 点的 0 邻域点开始,逆时针方向搜索它的 8 邻域点的值,找到第一个像素值为 1 的点,存储其坐标值并记为 Q_1 。 Q_0 为 Q_1 的前邻域点。

(7) 从 Q_1 点的 0 邻域点开始,逆时针方向搜索它的 8 邻域点的值,找到第一个像素值为 1 的点(该点不能是 Q_1 的前邻域点),存储其坐标值并记为 Q_2 。依此类推。

(8) 直到再次遇到 Q_0 点,跟踪结束。第二个轮廓边缘追踪结束。

(9) 依此类推,追踪到所有的轮廓边缘。

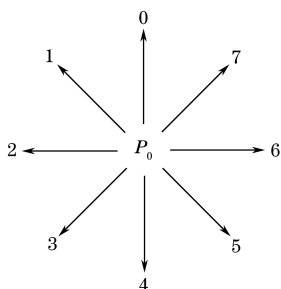


图 1 八邻域法的搜索顺序

现有的亚像素级的边缘检测方法有基于矩的方法,拟合法和基于插值的方法。拟合法获得的亚像

素边缘精度要高于另外两种方法。因此在提取轮廓边缘数据后,对内外轮廓数据点进行 B 样条拟合,拟合成 B 样条曲线。基于 B 样条拟合轮廓边缘,定位精度高。整像素提取出的数据在通过 B 样条曲线拟合后,变成亚像素级的数据,从而提高了虚拟测量精度。

2 虚拟测量

CT 图像内外轮廓拟合成 B 样条曲线后,测量内外轮廓沿 x, y 方向以及任意方向的尺寸,就是沿需要测量的方向虚拟绘制一条直线,该直线与内外轮廓曲线相交,求取其交点,就可计算出所需测量方向的具体尺寸。

对于一系列 CT 图像,将所有图像的内外轮廓拟合成样条曲线后,沿需要测量的方向虚拟绘制一个平面,该平面与这些样条曲线相交,就可以计算出每幅图像在所测量方向的具体尺寸。

3 试验过程与结果

用工业 CT 扫描设备对某个铸件进行扫描,得到一系列工业 CT 图像。图 2 为某铸件的 CT 图像。图 3 为采用二维 Otsu 法对图像二值化的结果。图 4 为提取轮廓边缘后,通过样条拟合得到的内外轮廓曲线。用一系列平行于 y 轴的直线与图 4 中的内外轮廓曲线相交,可得到一系列 y 方向的内外轮廓宽度值。图 5 为内外轮廓宽度的走势,图中横坐标为 x 坐标值,纵坐标为 y 方向的内外轮廓宽度值。用一系列平行于 x 轴的直线与图 4 中的内

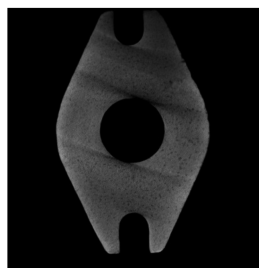


图 2 某铸件 CT 图像

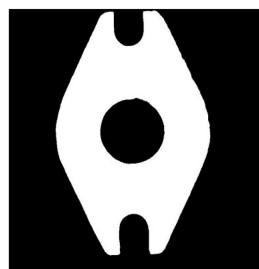


图 3 二维 Otsu 法对铸件图像的二值化结果

外轮廓曲线相交,可以获得一系列 x 方向的内外轮廓长度值。图 6 为内外轮廓长度的走势,图中横坐标为 y 坐标值,纵坐标为 x 方向的内外轮廓长度值。对于沿任意方向的虚拟测量,只要给出直线方程,虚拟绘制一条直线,如图 7 所示,就可分别得到内轮廓及外轮廓的尺寸为 14.54, 37.57 mm。

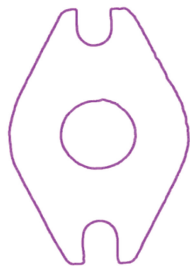


图 4 样条拟合得到的铸件轮廓曲线

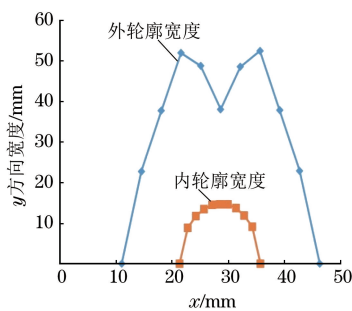


图 5 铸件内外轮廓宽度

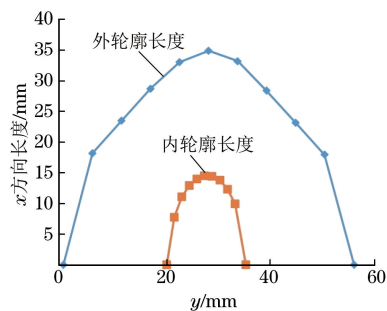


图 6 铸件内外轮廓长度

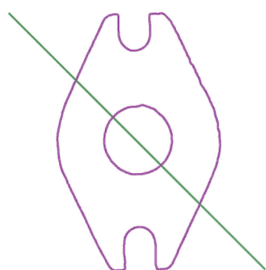


图 7 铸件任意方向的虚拟测量

对于该铸件内形和外形分别通过虚拟测量和实际测量,得到的结果如表 1 所示,表中误差百分比计算公式为 $\frac{|\text{虚拟测量值} - \text{实际测量值}|}{\text{实际测量值}} \times 100\%$ 。从

表 1 可看出,误差百分比在 0.2% 以内。铸件内外轮廓边缘不平滑的位置,对于提取图像边缘的影响较大,因此误差百分比也较大。

表 1 铸件虚拟测量和实际测量的结果对比

项目	虚拟测量值/ mm	实际测量值/ mm	误差百分比/ %
测量 1	34.932	35.0	0.19
测量 2	14.570	14.6	0.20
测量 3	55.490	55.5	0.02
测量 4	14.730	14.7	0.20
测量 5	55.510	55.5	0.02

4 结语

基于工业 CT 图像提出了一种虚拟测量方法,此方法对图像预处理后,提取图像轮廓边缘,然后对边缘数据点进行 B 样条拟合,得到样条曲线后,再进行虚拟测量。这种方法可以应用于不适合采用传统方式测量的场合,也特别适用于零件的内部轮廓、壁厚等参数的测量。将虚拟测量与传统测量方式相结合,可以有效地对零件内部以及外部尺寸进行测定。

参考文献:

- [1] ZHAO Yingliang, WANG Liming, HAN Yan. A 3-D industrial CT reconstruction algorithm to directly reconstruct the characteristics[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2011, 626(2): 20-24.
- [2] CHIFFRE L D, CARMIGNATO S, KRUTH J P, et al. Industrial applications of computed tomography[J]. CIRP Annals, 2014, 63(2), 655-677.
- [3] 方黎勇,李柏林,李辉,等. 工业 CT 在反求工程上的应用[J]. 强激光与粒子束, 2013, 25(7): 1620-1624.
- [4] 张莉,丛鹏. 工业 CT 反向工程测量涡轮叶片壁厚方法[J]. 核电子学与探测技术, 2015, 35(5): 503-505.
- [5] 周京,徐滨士,王海斗. 工业 CT 技术应用介绍及其在再制造中的展望[J]. 材料导报, 2017, 27(z1): 101-103.
- [6] 刘健庄,栗文青. 灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割法[J]. 自动化学报, 1993, 19(1): 101-105.
- [7] 倪麟,龚劼,曹莉,等. 基于自适应加权中值滤波的二维 Otsu 图像分割算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(2): 598-600.