

激光视觉焊缝跟踪图像处理与坡口识别

刘习文^{1,2}, 洪波¹, 戴铁峰¹

(1. 湘潭大学机械工程学院, 湖南湘潭 411105; 2. 复杂轨迹加工工艺及装备教育部工程研究中心, 湖南湘潭 411105)

摘要:针对激光引导焊缝跟踪过程中坡口图像特点,首先对图像进行 Radon 变换,检测出激光条纹所在位置;然后对变换后图像进行处理,消除噪声对应的信息,保留激光条纹所对应的信息,再进行 Radon 逆变换复原图像,可较好地消除噪声;最后,采用 OTSU 法对图像进行分割,并识别出坡口区域。该方法效果较好,抗干扰性较强,耗时较少,适合于激光视觉焊缝跟踪过程。

关键词:激光; Radon 变换; 图像处理; 坡口识别

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2011.07.020

Image processing and groove recognition in weld seam tracking based on laser vision

LIU Xi-wen^{1,2}, HONG Bo¹, DAI Tie-feng¹

(1. Xiangtan University, Department of Mechanical Engineering, Xiangtan 411105, China; 2. Engineering Research Center for Complex Path Processing Technology and Equipment of Ministry of Education, Xiangtan 411105, China)

Abstract: According to the image characteristics in weld seam tracking based on laser vision, Radon transform is used at first to find the location of laser stripe; then, the transformed image is processed by using the method that the information coming from laser stripe is kept and other information coming from noises is removed. After that the inverse Radon transform is carried out to recover the original image. Finally, OTSU method is used for image segmentation so that the groove region can be recognized. These methods have the merits of good effects, less time cost, and the strong anti-disturbance performance, therefore they are suitable for seam tracking based on laser vision.

Key words: laser vision; Radon transform; image processing; groove recognition

1 引言

自动化焊接是未来焊接的发展方向,焊缝跟踪则是自动化焊接的关键技术之一。目前,视觉传感方法被广泛地用于焊缝跟踪,由于焊接过程中存在大量弧光、飞溅等的干扰,如何获得高质量的图像是视觉引导焊缝跟踪过程中首先要解决的一个关键问题。激光相对于普通光源,具有能量集中、受环境影响小的优点,因此,激光常用来作为自动化焊接中的主动光源,由于大型激光发生器价格昂贵,目前常采用小型线结构激光来进行焊缝跟踪^[1]。尽管激光焊缝图像质量比较好,但依旧会受到弧光、飞溅、烟雾等干扰源影响,如何避免噪声干扰,获取准确的坡

口位置是焊缝跟踪的关键。

本文针对线结构激光特点,采用 Radon 变换、OTSU 自适应阈值分割等处理方法,不仅能准确地检测出激光条纹位置,还能有效地消除激光焊缝图像中的噪声干扰,有利于坡口区域的识别和焊缝中心的提取,效果较好。

2 图像 Radon 变换

2.1 Radon 变换原理^[2-4]

基金项目: 复杂轨迹加工工艺及装备教育部工程研究中心开放基金(No. 09-FZGJ06)资助。

作者简介: 刘习文(1971-),男,博士,副教授,研究方向为图像处理,智能控制及嵌入式系统。E-mail: liuxiwen1111@163.com

收稿日期: 2011-01-05; **修订日期:** 2011-06-10

在二维空间分布中,设 (x,y) 定义了平面上点的坐标, $f(x,y)$ 是定义于 R^2 中的任意函数,若 L 为平面上的任意直线,则 $f(x,y)$ 沿直线 L 的线积分为:

$$p = \int_L f(x,y) dl \tag{1}$$

式中, dl 是直线 L 的线元素增量。如果 f 在某一区域外为0,则积分可以是有限的值。

如图1所示,设任意直线 L 幅角为 θ ,旋转坐标系 xOy 使纵轴与 L 平行,得到一新坐标系 tOs ,则有:

$$\begin{cases} x = t\cos\theta - s\sin\theta \\ y = t\sin\theta + s\cos\theta \end{cases} \tag{2}$$

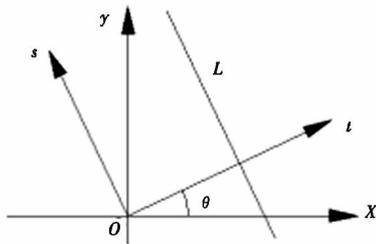


图1 二维 Radon 变换

Fig.1 two-dimensional Radon transform

于是, $f(x,y)$ 沿 L 的线积分可以写成如下形式:

$$p(\theta, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f((t\cos\theta - s\sin\theta), (t\sin\theta + s\cos\theta)) ds \tag{3}$$

根据上面定义,二维图像沿某条直线的 Radon 变换线积分就是处于该条直线上图像点的像素和,显然,如果图像中存在直线的话,该直线必对应 $p(\theta, t)$ 中的极大值,这样, Radon 变换就将二维图像中的线奇异转化成了 (ρ, θ) 空间中的点奇异。因此,和 Hough 变换相似, Radon 变换常用来进行图像中的直线检测。

Radon 变换存在逆变换,二维图像 Radon 变换后,通过逆变换可以较真是地复原图像, Radon 变换及其逆变换都存在快速算法。

3 焊缝图像特点

在激光引导焊缝跟踪过程中,如图2所示,一般尽量使激光发射器正对工件以获得竖直的激光条纹图像,这样便于计算机进行处理;另外,为了避开弧光干扰以及防止高温损害激光器和摄像装置,一般将其置于焊枪前方 25 mm 左右地方,但所得图像还是会受到飞溅、弧光、锈斑、油污以及打磨痕迹的干扰。从实测图像看,最主要的噪声来自飞溅和弧光干扰,这些干扰会严重影响焊缝区域提取。图3为一幅较为典型的 V 形坡口焊缝图

像,其大小为 192×192 ,可以看出,图像中某些飞溅噪声比激光条纹还亮,尽管利用激光条纹的方向特征可以识别其所在位置,但这些噪声还是会影响到坡口区域的识别和中心的提取,因此必须设法清除这些噪声干扰,增强激光条纹对比度。图像除噪增强方法有很多,可以采用图像域直接去噪增强方法,如灰度拉伸、直方图均衡等^[5],也可以先将图像转换到频域或小波域后再进行处理,当然并没有一种处理方法是万能的,需要根据图像的特点选取合适的方法。

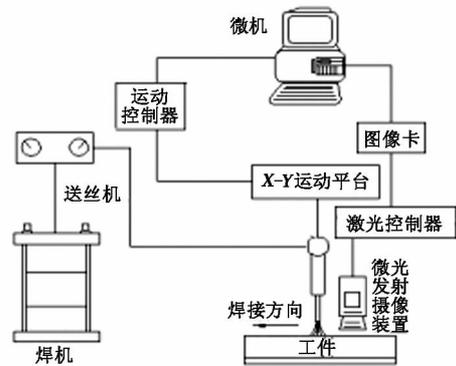


图2 激光视觉焊缝跟踪示意图

Fig.2 sketch map showing welding seam tracking based on laser vision

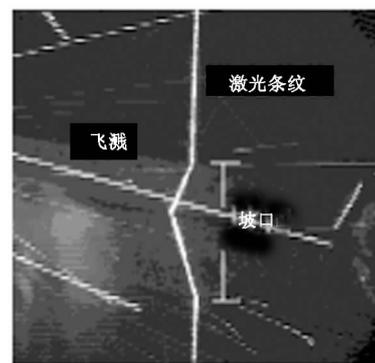


图3 典型线结构激光焊缝图像

Fig.3 typical image of welding seam based on line-structure laser

由于 Radon 变换将图像直线奇异转化成了点奇异,考虑到激光条纹呈直线状,并且 Radon 变换后图像直线信息主要集中在奇异点附近,因此,可在 Radon 变换域对激光条纹信息进行处理,消除噪声干扰。

4 激光焊缝图像处理

4.1 Radon 变换

以图像中心为原点,对图3进行 Radon 变换,取 $\theta \in [0^\circ, 179^\circ]$,得到 Radon 变换后的图像,如图4所示, Radon 变换后图像横坐标表示角度 θ ,纵坐标表示距离 t 值。

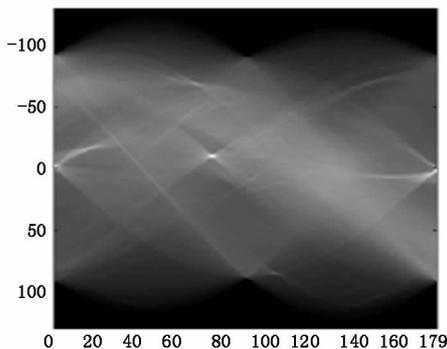


图4 线结构激光焊缝图像 Radon 变换

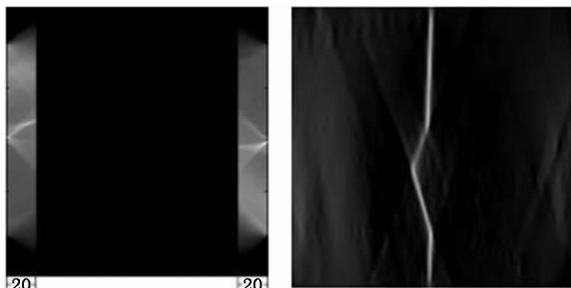
Fig.4 Radon transform of welding seam image based on line-structure laser

从图4看,图中全局极值点(最亮点)的横坐标约为 80° ,但该点并非对应原始图像中的激光条纹,而是对应原始图像中的噪声;由于原始图像的激光条纹基本处于竖直方向上,而噪声处于竖直方向的几率则非常小,因此, Radon 变换后,该激光条纹的对应的奇异点为横坐标等于 0° 和 179° 附近的极值点。

由于 Radon 变换后,激光条纹信息主要集中在其所对应的奇异点附近,因此可对离该奇异点较近的像素值进行增强、较远的像素值进行削弱处理,从而达到减少噪声干扰同时又保持激光条纹和坡口信息的目的。

4.2 Radon 变换域图像处理及逆变换

如图5(a)所示,以激光条纹对应的奇异点为中心,保持该中心附近矩形区域内像素值不变,而将该区域以外的像素值置零,这样相当于增强了 Radon 变换域中激光条纹信息所对应像素的对比度,削弱了噪声所对应的信息。经试验,整个矩形区域宽度取20比较合适,图5(b)为复原后的图像,可以看出图像中飞溅和弧光噪声基本消除,只产生了极少数的复原噪声,激光条纹和坡口信息均保存较为完好。



(a) Radon 域图像处理

(b) 复原后图像

图5 Radon 变换域图像增强及复原

Fig.5 image enhancement in Radon transform domain and recover

4.3 OTSU 法图像分割

图像去噪后,需对图像进行分割,将激光条纹从背景中提取出来,图像分割的方法有很多,其中阈值分割是一种简单有效的方法,它首先确定一个阈值,然后将图像中的每一个像素与此阈值相比较,根据比较结果将此像素归为目标或背景类^[6]。阈值分割的关键在于阈值的确定,OTSU 法是自适应确定阈值的有效算法之一,该方法概述如下^[7]:

设图像有 L 个灰度级,灰度值是 i 的像素数 n_i ,则总的像素数是 $N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i$,各灰度出现的概率为 $p_i = \frac{n_i}{N}$ 。设以灰度为 t 门限将图像分割成两个区域,灰度级为 $0 \sim t$ 的像素区域A,灰度级为 $t+1 \sim L-1$ 的像素区域B,则A,B出现的概率分别为:

$$P_A = \sum_{i=0}^t p_i, P_B = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i \quad (4)$$

A,B两类的灰度均值分别为:

$$\omega_A = \frac{\sum_{i=0}^t i p_i}{P_A}, \omega_B = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i}{P_B} \quad (5)$$

图像总的灰度均值为:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i \quad (6)$$

A,B两区域的类间方差为:

$$\sigma^2 = P_A (\omega_A - \omega_0)^2 + P_B (\omega_B - \omega_0)^2 \quad (7)$$

为了得到最优分割阈值,OTSU 将两类的类间方差作为判别准则,认为使得 σ^2 最大的 t^* 即为所求的最佳阈值:

$$t^* = \text{Arg Max}_{0 \leq t \leq L-1} [P_A (\omega_A - \omega_0)^2 + P_B (\omega_B - \omega_0)^2] \quad (8)$$

将上述算法应用于图5(b),得最佳阈值为74,利用该阈值进行分割,图6为分割后的图像。

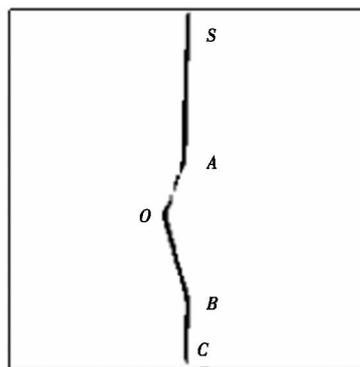


图6 OTSU 法分割后的激光条纹图像

Fig.6 laser stripe image after OTSU segmentation

4.4 坡口识别

从图6以及大量的试验图片看,激光条纹完全

从背景中分离出来了,并且坡口区域保存较好,只有少量背景误分为目标,这对坡口识别影响不大,但激光条纹少数地方存在中断现象,这对坡口区域的识别和焊缝中心的提取不利。考虑到上述特点,采用最小二乘法拟合出 SA, AO, OB 和 BC 四条直线,如图 7 所示,对这四条直线求交点,可很容易地求得 V 形坡口的端点和中心点,这样整个坡口区域就识别出来了,获得了坡口特征点后即可求出焊缝偏移量,进而进行焊缝跟踪。

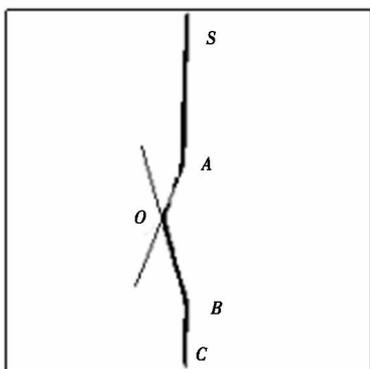


图 7 直线拟合提取坡口特征

Fig. 7 groove extraction by line fitting

上述步骤即为激光引导焊缝跟踪坡口图像识别全过程,本文采用 VC++ 与 MATLAB 相结合的方法完成该图像处理过程。对一幅大小为 192×192 的原始图像,在主频为 3.2 GHz 的奔腾四计算机上,整个过程运行耗时约为 0.23 s,能够满足实时跟踪的要求;另外,大量的试验表明,上述处理方法通用性好,抗干扰性较强,坡口特征识别精度较高。

5 结论

(1) 在焊缝跟踪过程中,飞溅和弧光是影响图像质量的主要因素,可对图像进行 Radon 变换,在 Radon 变换域消除噪声对应的信息,保存激光条纹及坡口信息,经 Radon 逆变换复原后能够较好地消除噪声。

(2) 对于除噪后的图像,采用 OTSU 法进行分割,可以较好地将激光条纹从背景中提取出来。

(3) 研究的图像处理及坡口识别方法抗干扰性

较好,耗时较短,精度较高,能满足大部分的焊缝跟踪要求,适合于激光视觉焊缝跟踪过程。

参考文献:

- [1] Sun Lixin, Dai Shijie, Li Gai, et al. Research on the image processing of multi-pass seam Based line structure light [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2002, 23(3): 53 - 55. (in Chinese)
孙立新,戴士杰,李概,等.基于线结构光的多道焊跟踪系统图像处理[J].焊接学报,2002,23(3):53-55.
- [2] Cheng Zhengxing, Yang Shouzhi, Feng Xiaoxia. Theory, arithmetic, development and application of wavelet analysis [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. (in Chinese)
程正兴,杨守志,冯晓霞.小波分析的理论、算法、进展和应用[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [3] Hu Donghong Tan Hui, Chen Xinmeng. The application of radon transform in 2D barcode image recognition [J]. Journal of Wuhan University: Nature of Science Edition, 2005, 51(5): 584 - 588. (in Chinese)
胡东红,谭辉,陈莘萌. Radon 变换在二维条码图像识别中的应用[J].武汉大学学报:理学版,2005,51(5):584-588.
- [4] Gao Xing. The theoretical study and realization of new iterative image reconstruction algorithms [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004: 8 - 15 (in Chinese)
高欣.新型迭代图像重建算法的理论研究与实现[D].杭州:浙江大学,2004:8-15.
- [5] Han Hongwei, Zhang Xiaohui. Study of enhancement technology in underwater laser imaging [J]. Laser & Infrared, 2007, 37(10): 1105 - 1108. (in Chinese)
韩宏伟,张晓晖.水下激光图像增强方法研究[J].激光与红外,2007,37(10):1105-1108.
- [6] Q Q Ruan. Digital image processing [M]. Beijing: Electron Industry Press, 2003. (in Chinese)
阮秋琦.数字图像处理学[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [7] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Trans SMC, 1979, 9(1): 62 - 66.