视觉传感技术在机器人智能化焊接中的应用

徐福
（天津新玛特科技发展有限公司　天津　300350）

摘要：焊接是工业机器人领域中的一项垂直细分领域，是典型的工业机器人应用场景。视觉传感技术通过光学元件和成像装置获取外部环境图像信息，使其与内存中存储的基准图像进行比较并形成结论，具有较高的灵敏度和测量精度，是全球焊接领域技术选择的热点。本文通过分析视觉传感技术在机器人智能化焊接中的具体应用，阐述了智能化焊接机器人的基本构成，并研究了视觉传感技术在焊接过程中的运作方式，以为我国工业制造智能化发展提供借鉴。

关键词：视觉传感技术；机器人焊接；智能化焊接

0　引言

当前工业制造领域的人工成本逐年攀升，焊工、打磨工等高危工种不仅面临招工难、用工荒的困境，生产效益也难以满足制造需求，所以亟需运用智能化焊接技术实现减人增效。为解决工业领域中传统机器人焊接的生产痛点，应运用基于视觉传感技术的机器人智能化焊接方式，实现焊接排序、工艺规程调用、运动路径规划的自动化和智能化，以此达到焊缝精准测量和跟踪的目的。

1　智能化机器人焊接系统

1.1　智能化机器人焊接系统基本构成

智能化机器人焊接系统主要包括焊接机器人、焊接设备、视觉传感器、图像采集卡、主控计算机等硬件设备，由智能化机器人焊接设备和视觉传感系统两部分组成，焊接设备用于承载焊接全过程，视觉传感系统可使传统焊接设备准确感知外部变化并及时做出调控，是智能化机器人焊接系统的中枢。

1.2　焊接机器人

焊接机器人由机器人设备和控制柜设备构成，可采用 FANUC（法那科）型号 M-20iA 系电缆内置式的多功能弧焊机器人，该机器人的动作辐射范围为 1.81m，负载力为 20kg，具有高强度的手臂与最先端的伺服技术，手部电缆管理稳定性较强，降低了智能化机器人焊接系统中视觉传感器离线编程的示教成本，且机器的维护难度低，各轴的加减速的动作性能较优越。

1.3　焊接设备

焊接设备由焊接电源、送丝机、焊枪构成。焊接电源选用了林肯电器的 Power Wave i400 型号的焊接电源，适用于智能化焊接机器人系统，使所有焊接工艺都涵盖在一个高效逆变的焊接电源中，运用了 120kHz 逆变器和同轴变压器技术，具有高性能的数字通讯和优质稳定的焊接效果。送丝机应运用与焊接电源相配套的林肯电气 Auto Drive 4R90 型，该送丝机采用四轮驱动，送丝速度范围为 1.3 ～ 20.3m/min，可与发那科型号的焊接机器人协调运作。焊枪采用宾采尔空冷 ABIROB A360 机器人焊枪，电流约为 290 ～ 360A，具有 22°、45°、180° 三种焊枪角度。

1.4　视觉传感系统

视觉传感系统由视觉传感器、图像采集卡和主控计算机三部分构成。视觉传感器由主体部分、光学部分和夹持部分组成（图 1），主体部分用来连接各系统的电器元件；光学部分通过反光镜和减光滤光片可清晰采集图像信息；夹持部分依托于传感器在焊接机器人中的位置，调整传感器整体的角度，以确保视觉传感器具有一定的适用性和柔性。视觉传感器中的减光滤光系统包含一套减光片和滤光片，能够消除焊接现场熔池区域的弧光，使图像信号得到清晰完整地传递，以获取高分辨率的焊接点位图像。图像采集卡的主要硬件为数字 CMOS 器件，运用了主动式像素结构，可同步开展光信号采集和电信号读取，快速处理传感系统的图像信息，具有较广的动态范围和真实性较强的图像色彩。图像采集卡在采集与处理焊接图像后，会将其转变为数字信号并传输给主控计算机，由主控计算机开展图像信号的三维计算，最终确定焊接路径。

2　视觉传感技术在机器人智能化焊接过程中的具体研究

2.1　焊缝图像预处理

焊缝图像预处理前需要获取激光条纹图像，而采

48-76 机械工业应用 22年7月上 第19期.indd 52　　2022/8/30 11:02:56

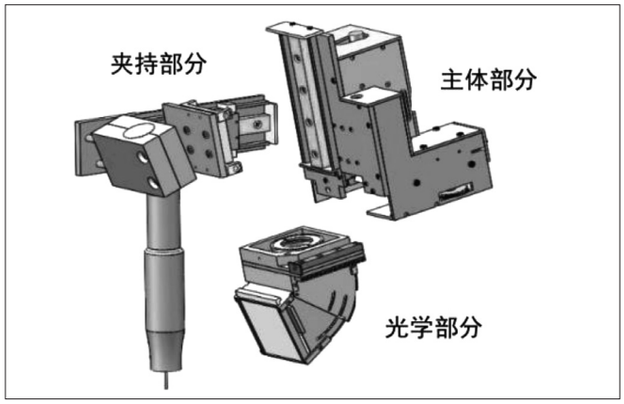

图 1　视觉传感器构成图

集清晰的激光条纹图像则需要确定视觉传感器的激光光谱能否避免受到焊接弧光的干扰。面对弧光强度为 600 ~ 700nm 的焊接点，本文所采用的视觉传感器的激光光谱能量为 660nm，亮度较为集中，滤波片能够过滤的弧光范围有限；而视觉传感器的窄带滤波片的峰值通过率较低，能够过滤和抵御大部分的焊接弧光，所以应采用减光片和滤光片相组合的过滤系统，有效降低焊接弧光的通过率，确保焊缝图像处理获取清晰的激光条纹。

在机器人智能化焊接的实际操作过程中，直接运用视觉传感技术所采集的焊缝图像会受到工件坡口反光和熔池弧光影响，不利于图像的清晰呈现和焊缝操作点的精准定位。因此，在正式焊接前应首先开展焊缝图像的预处理，避免传感器和图像采集器受弧光干扰，确保获取高分辨率的图像，提高传感器的图像识别和处理能力。针对因反光影响产生的图像对比度低、亮度区别小和背景杂乱等情况，应对图像进行增强处理和阈值处理，以此提高图像处理的精确度，使图像更加完整和纯净。所以，本文通过将阈值处理和灰度拉伸相结合的形式完成焊缝图像预处理的计算，公式为：

$$g(x,y)=\begin{cases}0, if\ f(x,y)\leqslant L\\ 9.1\left[\frac{255(f(x,y)-L)}{255-L}+1\right], otherwise\end{cases} \quad (1)$$

式中：$f(x,y)$ – 焊缝原图像的灰度值；

$g(x,y)$ – 预处理后图像的灰度值；

L – 大津算法计算的全局阈值。

对焊缝图像开展阈值处理和灰度拉伸后（图 2），图像的前景更加明亮，后景保持暗沉，图像整体分辨率提高，背景中杂乱元素得到清除，有效提升焊缝处理的效率和准确度。

2.2　图像感兴趣区域（ROI）获取

在焊接图像的采集与处理中，使用者只会关注焊接

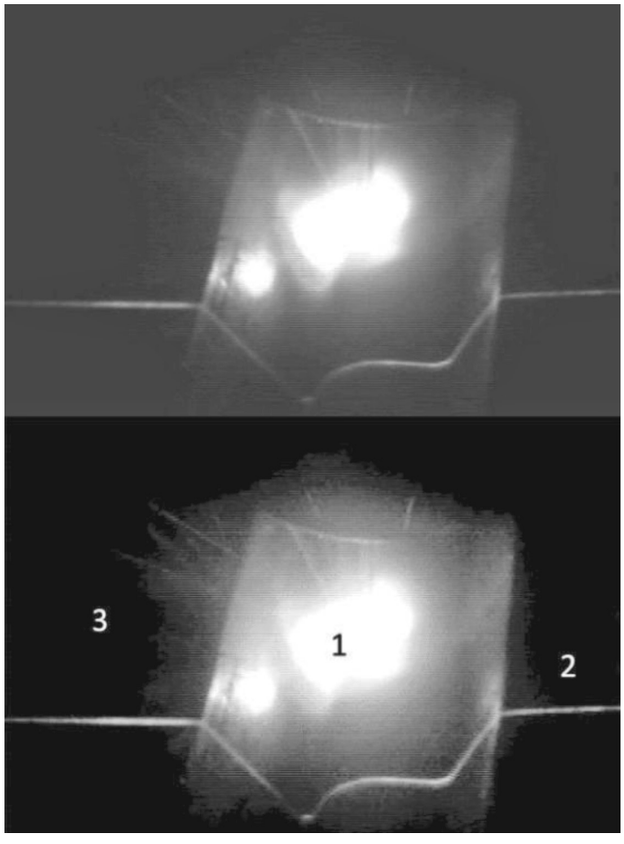

图 2　焊缝图像预处理前后对比图

中的重点区域，此类区域在传感器图像采集中被称为感兴趣区域（ROI），通过单独提取感兴趣区域，能够大幅度降低图像处理的运算量，并能避免杂乱背景的影响。为成功提取图像感兴趣区域，不仅需要经过预处理，还要进行边缘提取、面积滤波、形态学处理、ROI 区域分割等步骤。

针对智能化焊接机器人对图像处理和运算速度的高要求，应采用 Laplace 边缘提取算法，需要在图像预处理后开展边缘提取，公式为：

$$Laplace(f(x,y))=\frac{\alpha^2 f(x,y)}{\alpha^2 x^2}+\frac{\alpha^2 f(x,y)}{\alpha^2 y^2} \quad (2)$$

图像经过边缘提取后排除了大面积的背景因素，但依然保留了由熔池弧光形成边缘线，且边缘线涉及范围小，所以应通过面积滤波的方式去除多余的边缘轮廓，通过设定固定的像素点，定位所需要去除的干扰面积，就可得到轮廓较为清晰的感兴趣区域。为确保图像中感兴趣区域提取的完整性，还需要对面积滤波出率后的图形进行填充，通过形态学处理去除图像中细小的干扰杂物，并进一步扩大感兴趣区域，使其覆盖轮廓边缘的信息，以此得到正确且清晰的感兴趣区域。

48-76 机械工业应用 22年7月上 第19期.indd 53　　2022/8/30 11:02:56

2.3 焊缝特征点识别

焊缝特征点识别的前提是提取图像中的激光条纹，通过定位与获取焊缝图像的激光条纹，可提高焊缝特征点识别的精度。本文采用重心法提取光条中心线，公式为：

$$y_a(x=1)=\frac{\Sigma_{y=m}^{n} g(i,y)\cdot y}{\Sigma g(i,y)} \quad (3)$$

式中：n – 焊缝图像感兴趣区域的上限；

m – 焊缝图像感兴趣区域的下限；

$g(i,y)$ – 焊缝图像的灰度值；

$y_a(x=1)$ – 焊缝图像灰度重心。

通过计算可确定激光条纹在感兴趣区域的位置和结构光的投影情况。根据图像中激光条纹的投影变化情况可确定焊缝特征点，本文利用条纹的斜率计算焊缝相邻两点的平均斜率值，从而确定焊缝在感兴趣区域中的具体位置，公式为：

$$P(n)=\left|\frac{f(n+1)-f(n-1)}{2}+\frac{f(n+2)-f(n-2)}{4}\right| \quad (4)$$

式中：$P(n)$– 图像中焊缝处激光条纹相邻两点的平均斜率值；

$f(n+1)$ 为图像中激光条纹的斜率。

通过计算即可确定图像中激光条纹在焊缝左侧、焊缝中心以及焊缝右侧的位置（图 3），并将焊缝处的三点重新显示到原图像中，观察是否与原图像的焊缝位置重合，以此确保焊缝特征点识别的误差率符合标准。

2.4 焊缝特征点跟踪

在智能化机器人焊接系统中，焊缝特征点为跟踪目标，需要运用视觉传感器进行识别与跟踪，利用传感器所采集和处理图像空间性和时间性的特点，可基于图像中固定的区域形状实现对焊接目标的跟踪。在开展目标跟踪前，视觉传感器就已精准定位焊缝特征点的具体位置，且在实际操作中，所焊接工件形成的运动轨迹是连续的，所以视觉传感器能够获取具有连续性的焊缝位置。

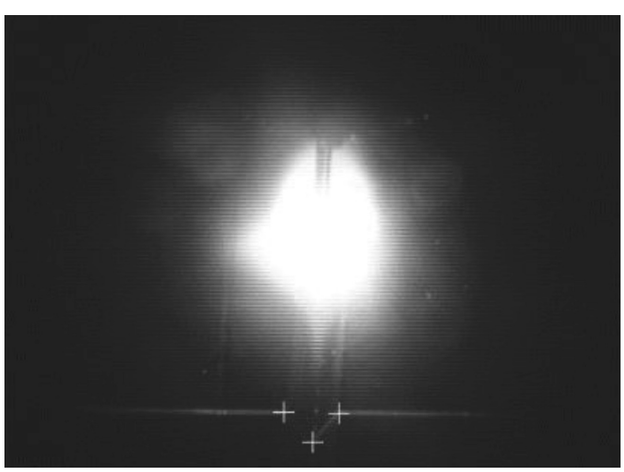

图 3 视觉传感器中焊缝特征点位置

通常情况下，焊缝跟踪目标主要集中于焊缝图像中的感兴趣区域和焊缝特征点，在焊缝特征点跟踪过程中，视觉传感器会按照焊缝目标的跟踪需求进行处理。如果明确特征点的位置，需要获取以特征点为中心的模板图像作为待识别的区域，并计算激光条纹中心，根据激光条纹斜率确定特征点的坐标位置，此种目标跟踪方法的图像处理运算量较低，图像处理精度和准确度得到提升。但若未得到明确的特征点位置，则需要开展感兴趣区域提取，而后再计算条纹中心，可有效避免非感兴趣区域弧光、飞溅等不稳定因素的干扰。

3 结语

智能化焊接机器人是电子集成控制的综合产物，是工业制造中焊接技术自动化的重要标志，基于视觉传感技术完善焊接机器人视觉、触觉、声觉等多方位感知能力，实现焊缝特征点的精准定位，有效提升焊接机器人技术的稳定性和产品质量，促进工业制造的生产模式的自动化和智能化创新。

参考文献：

[1] 蒋宝，徐冬至，黄瑞生，等．基于视觉传感的焊接机器人焊缝识别跟踪技术研究现状 [J]. 金属加工（热加工），2022(01)：10-17+21.

[2] 刘超，赵春辉，明廷宏，等．基于视觉传感的天然气管道环焊缝焊接关键技术研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量，2021,41(09)：157-158.

[3] 田学华，张志毅，吴向阳，等．转向架焊接机器人智能集控系统及关键技术 [J]. 智能制造，2021(06)：34-39.

[4] 刘伟，王克宽，桑喜新，等．全位置焊接机器人轨道运动智能控制研究 [J]. 吉林大学学报（信息科学版），2021,39(06)：688-694.

作者简介：徐福（1986.04-），男，汉族，内蒙古包头人，本科，工程师，研究方向：机电一体化。

48-76 机械工业应用 22年7月上 第19期.indd 54 2022/8/30 11:02:56