

基于弧焊机器人的柔性再制造系统

杨培¹,徐滨士²,吴林¹,朱胜²

(1.哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150001;2.装备再制造技术国防科技重点实验室,北京 100072)

摘要:建立了一个基于弧焊机器人的柔性再制造系统,由测量、建模和离线编程3个子系统组成。介绍了系统的硬件结构和各个子系统的工作原理。系统对不同缺损程度的工件的再制造可以自动进行。

关键词:柔性再制造;机器人;激光视觉;建模;离线编程

中图分类号:TP242.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2006)03-0019-03

Research on flexible remanufacturing technology based on welding robot

YANG Pei¹, XU Bin-shi², WU Lin¹, ZHU Sheng²

(1.National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2.National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072, China)

Abstract: A flexible remanufacturing system based on arc weld robot is built, which consist of three subsystems; measuring subsystem, modeling subsystem and off-line programming subsystem. The structure of the remanufacturing system and the principle of the three subsystems are described in details. The system can be easily employed to an automatic remanufacturing of workpieces of various state of the surface damage.

Key words: flexible remanufacture; robot; laser stereo; modeling; off-line programming

前言

再制造技术作为一种刚刚兴起的先进制造技术,采用高新表面工程技术、快速成形技术等先进制造技术,使损伤或报废零部件迅速恢复其原有尺寸,并恢复或超越其原有技术性能^[1]。再制造的加工对象一般是废旧产品,由于废旧产品在服役期间的工况不同、退役原因不同、失效形式不同、来源数量不确定等特点,使得再制造的对象具有个体性和不确定性等特点。因此再制造系统应具有:可自动化检测不同种类、不同失效形式的零部件,适应变化的零部件,即提高自动化程度,使之更具柔性,提高智能程度,这是再制造工程发展的方向^[2]。在柔性再制造单元中,要实现对再制造过程的自动化,必须首先获得废旧零件产品的形状数据和位置信息,将其输入到上位机中,通过离线编程系统规划好再制造轨迹,然后将规划好的路径下载到机器人控制器,控制机器人进行工件的再制造。

本研究建立了一个基于弧焊机器人的柔性再

收稿日期:2005-10-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50235030)

作者简介:杨培(1973—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,主要从事机器人焊接和再制造的研究工作。

制造系统,该系统包括测量、建模和离线编程3个子系统,可以自动获取废旧零件的表面信息,建立再制造模型,并生成焊接再制造程序,完成废旧零件的再制造过程。

1 柔性再制造系统的硬件构成

弧焊机器人柔性再制造系统的硬件结构如图1所示。其主要组成部分是:工业机器人 HRGH-4、变位机、MIG/MAG 焊机 CPV350R、激光视觉传感器、个人计算机等。

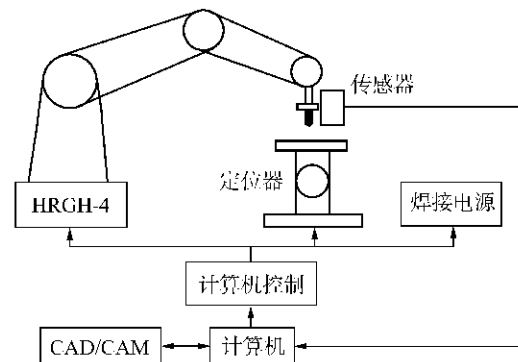


图1 硬件组成结构

机器人自行研制的 HRGH-4 型 6 自由度关

节式机器人,在其工作空间内可以满足焊接工艺过程的位姿和速度要求,再配以 3 自由度的变位机,可以实现复杂形状焊缝的焊接。激光视觉传感器安装在机器人末端,可以获取工件表面的三维空间坐标,并在焊接过程中实现实时焊缝跟踪。计算机通过 RS232 串行通信接口与机器人控制柜相连,实现焊接程序的上传与下载。

工件的再制造过程为:首先通过安装在机器人末端的激光视觉传感器获取工件表面点的三维空间坐标;在建模系统中,由工件表面的三维离散坐标建立工件的再制造模型;将再制造模型输入离线编程系统,生成焊接程序;焊接程序下载到机器人控制器,实现工件的焊接再制造,如图 2 所示。

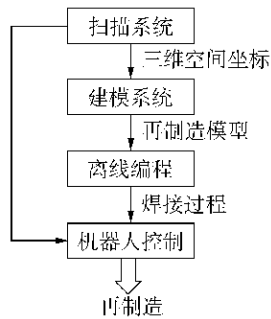


图 2 再制造过程示意

2 测量系统

通过安装在机器人手臂末端的激光视觉传感器获取工件表面点的三维空间坐标。激光视觉传感器由激光投影器和 CCD 摄像机组成。机器人带动激光视觉传感器沿工件表面扫描,投影器将激光条纹投影于工件表面,在表面上形成由工件表面形状所调制的光条三维图像,由 CCD 摄像机探测,从而获得了光条的二维畸变图像。光条的畸变程度取决于投影器与摄像机之间的相对位置和工件表面轮廓。选取工件的特征点,经图像处理获得其图像平面坐标,通过标定建立起像平面与机器人基坐标系之间的关系,从而获得了工件特征点在机器人基坐标系的坐标。

当从传感器获取的工件图像开始计算工件在机器人基坐标系的三维坐标时,工件上一点的三维坐标与其在图像中对应点之间的相互关系是由激光视觉传感器的模型决定的。系统整体坐标系变换关系如图 3 所示。图中, (O_x, y, z_r) 为机器人基坐标系, (O_{x_6}, y_6, z_6) 为机器人末端坐标系, (O_{x_i}, y_i, z_i) 为摄像机坐标系, (O_{x_i}, y_i) 为图像坐标系, (O_{uv}) 为像素坐标系, (O_{x_s}, y_s, z_s) 为光面坐标系。空间一点的像素坐标 (u, v) 与

其图像坐标 (x_i, y_i) 之间的关系由摄像机模型确定;图像坐标 (x_i, y_i) 与其机器人基坐标系坐标 (x_r, y_r, z_r) 之间的关系,是由传感器模型确定的。通过标定摄像机以及传感器,即可确定 (u, v) 与 (x_6, y_6, z_6) 之间的关系。

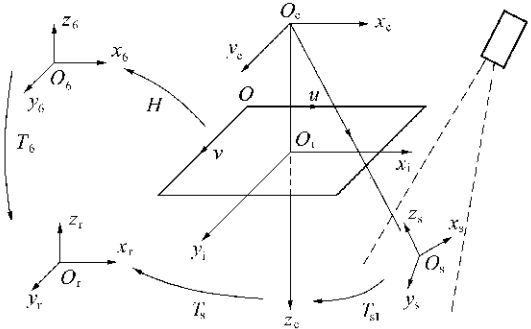


图 3 系统坐标变换关系

当摄像机标定和传感器结构标定完成后,可得空间一点的像素坐标 (u, v) 到机器人坐标系坐标 (x_r, y_r, z_r) 之间的关系为^[3]

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \\ 1 \end{bmatrix} = T_6 H M_1 M_2 \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中 T_6 为机器人末端坐标系与机器人基坐标系之间的关系,可以在机器人控制器上读出; H 为图像坐标系坐标 (x_i, y_i) 到机器人末端坐标系 (O_{x_6}, y_6, z_6) 的变换阵; $M_1 M_2$ 为摄像机内部参数矩阵。

因此,通过标定得到了像素坐标系上一点与对应的机器人基坐标系中的点的关系。记录下激光扫描过程中每一个位置的 T_6 值,即可通过式(1)计算出像素坐标系中每一点对应的机器人基坐标系坐标。

3 建模系统

由激光视觉传感器得到的工件表面点是空间离散点,不能直接输入离线编程系统进行焊接参数和路径的规划,必须建立再制造模型。首先对测量点云进行曲面拟合,得到工件的实际模型,然后将测量模型与工件的原始 CAD 模型进行比较,生成工件的再制造模型。

激光视觉传感器测量得到的数据,是按行组织的截面轮廓数据。首先对这些平面轮廓数据进行数据分割,使分割后的数据可以由一个简单的曲面进行拟合。由于数据是按行排列的,可以采用如下方法生成曲面:先采用 B 样条曲面对各条轮廓线进行拟合,称为轮廓曲线;然后采用统一节点矢量的方法进行插值,使各条截面线的次数、控制点数和节点

矢量均相同,这样,就可以用单向蒙皮的方法生成B样条曲面^[3-4]。在此采用3次B样条曲线曲面。某轴类零件的再制造建模实例如图4所示。

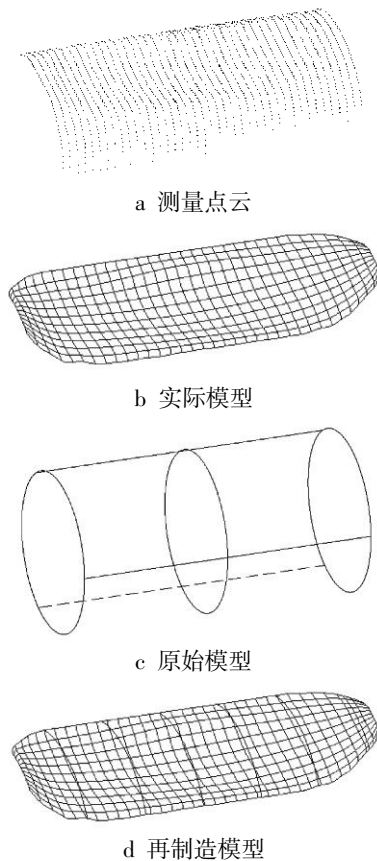


图4 再制造建模

4 离线编程系统

将建模系统生成的再制造模型输入离线编程系统,对再制造模型进行处理,通过离线编程系统事先规划好焊接轨迹,然后将规划好的焊接路径下载到机器人控制器,控制机器人进行焊接。

系统总体上呈模式结构,主要有工件几何模型输入模块、焊接任务规划模块、机器人程序自动生成模块、计算机图形仿真模块和机器人通信模块等,如图5所示。

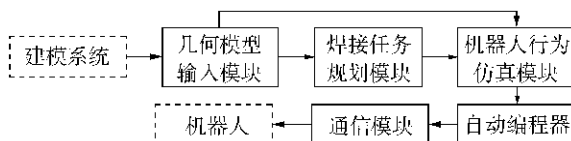


图5 离线编程系统总体结构

a. 几何模型输入模块。离线编程系统提供与建模系统软件的接口,可从建模系统导入工件的再制造模型,还可以从CAD软件构造并导入工装夹具和

工作环境等必要的三维实体模型。

b. 焊接参数规划模块。建立焊接参数数据库,系统根据再制造模型自动在知识库中查找信息,选择焊接参数。操作者也可以根据实际情况对焊接参数进行编辑、修改或直接输入焊接参数。

c. 焊接轨迹规划模块。系统根据再制造模型的形状,自动确定在某一焊接规范条件下的堆敷层数和焊道轨迹。

d. 图形仿真模块。对任务规划和路径规划的结果进行图形动画仿真,模拟整个再制造过程,做避碰检查及机器人运动的合理性检查,为离线编程结果可行性提供参考。机器人程序的仿真画面见图6。

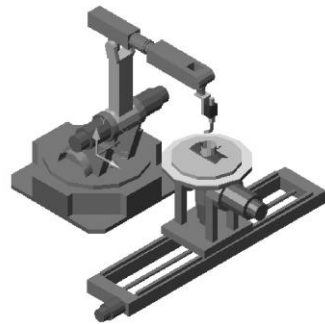


图6 机器人程序的仿真画面

e. 机器人程序生成模块。开发了一个机器人程序转换器,将离线编程编制程序转换成机器人可接受的程序,下载给机器人。

5 结论

建立了一套基于弧焊机器人的柔性再制造系统,系统由测量、建模和离线编程3个子系统组成。测量系统获得再制造工件表面三维空间坐标;然后由建模系统建立工件的再制造模型;离线编程系统根据再制造模型生成机器人程序,下载到机器人控制器,控制机器人完成工件的再制造。系统对不同缺损形式的工件的再制造可以自动进行。

参考文献:

- [1] Binshi Xu, Wei Zhang, Shicang Liu. Remanufacturing Technology for the 21st Century[C]. Sweden: The 15th European Maintenance Conference, 2000: 335-339.
- [2] 师昌绪,徐滨士,张平,等. 21世纪表面工程的发展趋势[J]. 中国表面工程, 2001, 50(1): 2-7.
- [3] 杨培,徐滨士,吴林. 基于结构光三维视觉的再制造工件的测量及重建[J]. 焊接学报, 2005, 26(8): 12-15.
- [4] 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理B样条[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1993.