

Research on Rapid Prototyping Control System of Robotic Arc Welding

Jin Taobin¹ Liu Zhengwen^{2*} Luo Yibiao² Zhong Fei²

1. Huhhot Metro Rail Transit Construction Management Co., Ltd., Huhhot;
2. School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing

Abstract: A rapid prototyping system for arc welding based on robot is designed and developed, which can realize path planning and automatic rapid prototyping of arc welding. The core of the system is the integrated real-time control platform, which integrates the path planning algorithm and the robot motion control algorithm, and has a good human-computer interaction interface. It can easily carry out basic parts repairing and three-dimensional rapid prototyping research. It also provides free prototyping for arc welding. The research of control method laid the groundwork.

Key words: Rapid prototyping; Additive manufacturing; Robot; Arc welding

Received: 2019-07-13; Accepted: 2019-08-26; Published: 2019-09-11

机器人电弧焊快速成型控制系统研究

金涛斌¹ 刘正文^{2*} 罗毅彪² 钟飞²

1. 呼和浩特市城市轨道交通建设管理有限责任公司，呼和浩特；
2. 北京石油化工学院机械工程学院，北京

邮箱: liuzw@bipt.edu.cn

摘要: 设计研制以机器人为运动执行机构的电弧焊接快速成型系统，可实现导入三维模型的路径规划及电弧焊接的自动快速成型。系统核心是综合实时控制平台，其较好地整合了路径规划算法和机器人运动控制算法，设计并优化了系统的人机交互，可方便地进行基础性的一般部件修复和三维快速成型研究，同时为电弧焊接自由成型的控制方法研究作了铺垫。

关键词: 快速成型；增材制造；机器人；电弧焊接

收稿日期：2019-07-13；录用日期：2019-08-26；发表日期：2019-09-11

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1 前言

快速成型 (Rapid Prototyping, RP) 技术是指在计算机控制下, 根据零件的 CAD 模型, 采用材料精确堆积的方法制造零件原型的技术 [1]。而电弧焊接快速成型以焊接技术为基础, 将由电弧为热源熔化焊接材料逐层堆积, 形成实体零件的先进材料加工技术。关节式工业机器人是在工业自动化生产中大量成熟应用的机电一体化生产工具, 是各种智能自动化制造系统的核心自动化设备。近年来, 将机器人应用于电弧焊接快速成型的研究逐渐增多, 华中科技大学周龙早较早采用机器人进行电弧焊接快速成型 [2]; 装甲兵工程学院徐滨士院士团队将机器人应用于部件快速修复取得较好的效果 [3]; 国外也有采用机器人辅助电弧焊接快速成型的研究, Bonaccorso 等人采用机器人电弧焊接制作复杂的金属成型部件 [4], Ding 等人将人工智能技术应用于机器人电弧快速成型 [5], 其开发的成型设备集成性较高; 对于电弧焊接成形的精度和工艺研究主要侧重于工艺对材料和组织的影响 [6] [7] [8]。综上, 目前电弧快速成型研究更多偏向于实验研究, 对于机器人电弧快速成型的系统集成性研究不够完善。

本文对机器人电弧快速成型系统进行了综合设计, 系统采用 MOTOMAN 机器人作为快速成型运动执行机, 应用 VC# 编程工具系统地开发了集成机器人控制与快速成型功能的一体式综合控制平台, 为以后机器人的电弧自由快速成型控制及焊接工艺研究打下基础。

2 快速成型系统

机器人电弧焊接快速成型系统的硬件包括小型关节机器人及其控制柜、可升降工件平台、主控电脑及其扩展模块的主控制箱、焊接电源等, 如图 1 结构模型所示。

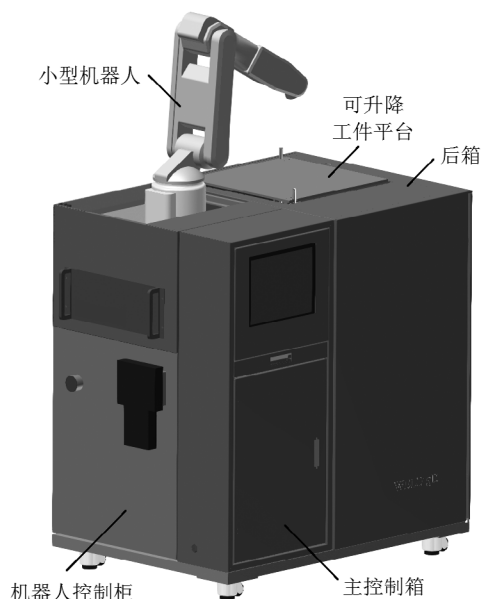


图1 机器人电弧焊快速成型系统结构

Figure 1 The composition of Robot arc welding rapid prototyping system

小型关节机器人与可升降工件平台构成电弧快速成型运动执行机构；主控制箱中集成有工业控制计算机和扩展控制模块，完成设备的中心控制；焊接系统与主控电脑通过高速通信连接。该系统由于在升降台下预留设计了冷水槽，因此将冷水槽注水后还可外接水冷循环设备，从而控制冷水槽中循环水的温度，当快速成型作业时可将成型件部分浸入水中达到成型过程中件体快速降温的作用。设备整体结构紧凑，便于进行快速成型与修复相关的各种实验。

使用该系统进行电弧焊快速成型时，先用常规造型工具如 Solidworks 或 Autodesk 等造型软件制作三维模型，然后将模型导入该系统控制软件，由控制软件完成模型分层及路径规划后，将路径数据上传至机器人并控制机器人进行电弧焊快速成型，成型过程中同时控制焊接工艺，在不同位置采用不同的焊接工艺。

3 实时控制平台

机器人电弧焊快速成型的实时控制平台主要由“设置参数”“切片软件”“三

维打印”三个功能模块组成，采用 Visual C# 编程语言设计的综合实时控制平台的软件界面如图 2 所示，“切片软件”“三维打印”模块软件界面如图 3 所示。

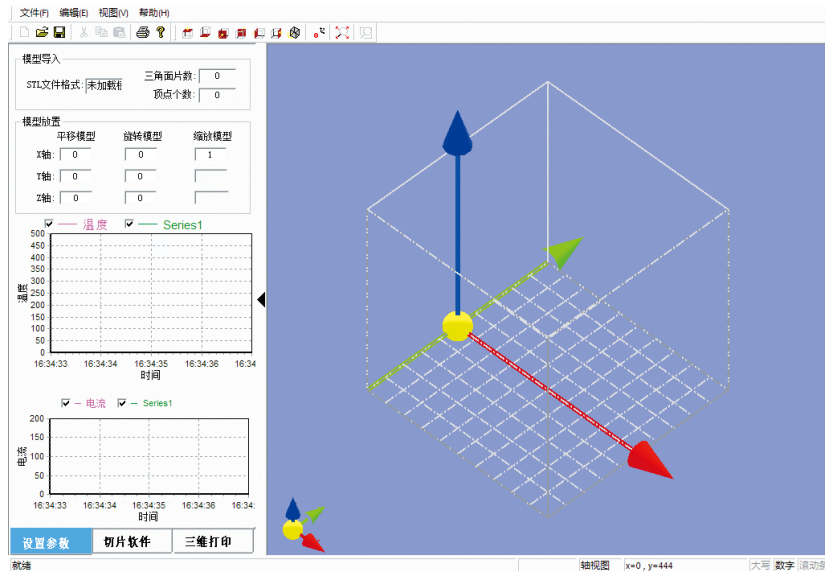


图 2 综合控制平台软件界面

Figure 2 Software interface of integrated control platform



图 3 综合控制平台软件功能模块界面

Figure 3 Software function module interface of integrated control platform

3.1 “设置参数”模块

该模块主要功能为 STL 三维模型导入、模型窗口操作、及平台实时参数显示，完成三维模型的导入与功能显示。

3.2 “切片软件”模块

该模块主要功能为分层与路径规划参数设置、路径规划与模拟操作。该模块核心算法为三维模型的路径规划算法，根据分层与路径规划参数设置，算法可自行完成三维模型的分层及各层内的快速成型路径规划，同时还可模拟焊枪沿规划路径进行走枪演示。

3.3 “三维打印”模块

该模块主要功能为机器人运动控制、焊接参数设置、快速成型操作，为综合控制平台的核心功能模块，机器人运动控制算法是其核心算法。运动控制算法包括由机器人 6 关节角度计算执行器末端位置与姿态的机器人正解算法和反向推理计算的机器人运动学逆解算法。基于机器人运动控制算法，可完成机器人运动控制及各关节轴参数实时显示，并在焊接参数设置与路径规划完成的条件下，进行部件局部修复和实体零件快速成型两种功能操作，在模块下方有操作指令提示窗口，可显示自动操作下运行程序状态和步数，系统出错时提示报警。

4 MOTOCOM32 库函数对象封装

MOTOCOM32 是日本安川电机为其机器人系统产品向高级用户提供的深度开发软件工具包，该软件工具包为动态链接库（DLL）形式，包含了外部控制器与机器人系统的文件数据传送、外部远程机器人控制、机器人系统 I/O 读写信号等功能，用户可根据实际需求选择适合的功能库进行第三方软件开发。在主控制软件中想要调用 MOTOMAN32 的库函数，首先应参照 MOTOMAN32 操作说明书，在主控制软件的项目属性弹出窗口中点击左侧菜单“链接器 / 输入”，在右侧“附加依赖项”中加入“motocom32.lib;motocomes.lib;vrp32.lib”，并将“motocom.h”和“motocomes.h”的头文件引用添加到软件项目的主程序头文件中。之后便

可以在软件中对 MOTOCOM32 的库函数进行调用。

针对 MOTOMAN32 的使用,安川公司向用户提供了库函数手册,对各类函数都有较完整的介绍,常用的可调用库函数及其功能如表 1 所示。

表 1 MOTOMAN32 常用库函数

Table 1 MOTOMAN32 frequently-used library functions

库函数名	函数功能
ESOpen()	打开与机器人通信接口
ESClose()	关闭与机器人通信接口
ESGetAlarm()	读取机器人报警号内容
ESGetPosition()	读取机器人当前位置
ESSaveFile()	保存当前有效的文件
ESLoadFile()	从 PC 机上传选中的文件
ESDeleteJob()	删除当前有效的 JBI 文件
ESSelectJob()	选中指定的 JBI 文件
ESStartJob()	启动当前选定的 JBI 文件
ESServo()	控制机器人伺服的开关
ESGetJobStatus()	读取当前机器人运行状态
ESCartMove()	控制机器人以角度移动
ESPulseMove()	控制机器人以脉冲数移动
ESReadIO1()	读取 1 号 IO 量
ESWriteIO1()	写入 1 号 IO 量
ESHold()	控制机器人状态保持的开关
ESGetStatus()	读取当前机器人状态参数
ESCancel()	取消当前选定项
ESReset()	复位机器人状态

库函数在使用时由于考虑到通用性,其返回值的表达往往为复杂的长字符串格式,在实际使用时带来诸多不便,因此,在使用 MOTOCOM32 库函数时对其进行了面向对象的封装,同时根据各函数使用需求对返回数据串进行选择性提取,以方便使用。

以获取机器人运行状态的 ESGetJobStatus() 函数为例,通过对原接口函数进行封装,只对机器人正在运行的 JBI 文件的行号和步号进行提取,而屏蔽其他参数。获取机器人 Job 作业运行状态的函数代码如下所示:

```
CString clsCommand::esGetJobStatus()  
{  CString res = "";  
    long result = OK;
```

```

ESJobStatusData jobData;
memset(&jobData, 0, sizeof(ESJobStatusData));
result = ESGetJobStatus(handle, 1, &jobData);
if (result == OK){
    res.AppendFormat("%d,", jobData.lineNo);
    res.AppendFormat("%d\r\n", jobData.stepNo);
}
return res;
}
    
```

采用 MOTOCOM32 函数库调用成功后，便可很方便地对机器人进行在线控制。

5 程序结构

该综合实时控制平台在三个功能模块的操作界面框架下，以路径规划和机器人运动控制两套算法为核心进行综合控制平台的软件结构设计，程序结构如图 4 所示。图中最上方的模块为用户界面，软件功能主要是人机的交互和模型及操作过程的显示，其下的左侧大方框表示基于机器人运动算法的功能模块，右侧大方框则基于路径规划算法。

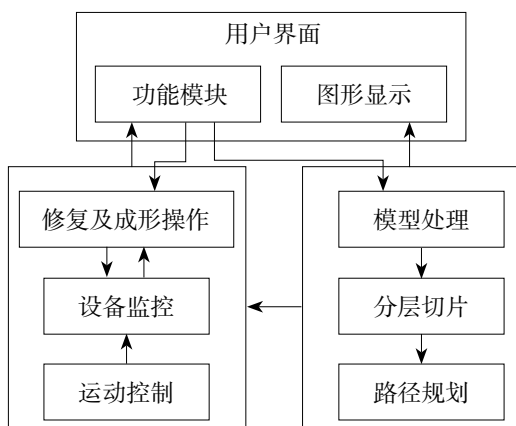


图 4 综合实时控制平台程序结构图

Figure 4 Program structure diagram of integrated control platform

安川关节机器人的在线控制主要分为单点单步运动控制和生成 JBI 路径文件后多点连续控制两种方式, 为便于机器人控制, 将三维模型进行路径规划得到路径点数据, 再通过机器人运动算法解得机器人实际的运动位置与姿态点, 最终生成用于机器人运动的 JBI 文件。

图 5 所示为生成 JBI 文件的多点连续控制的程序流程。需注意的是, 控制中对 JBI 文件格式要求非常严格, 应谨慎编写生成, 否则极易导致程序无法正常运行。

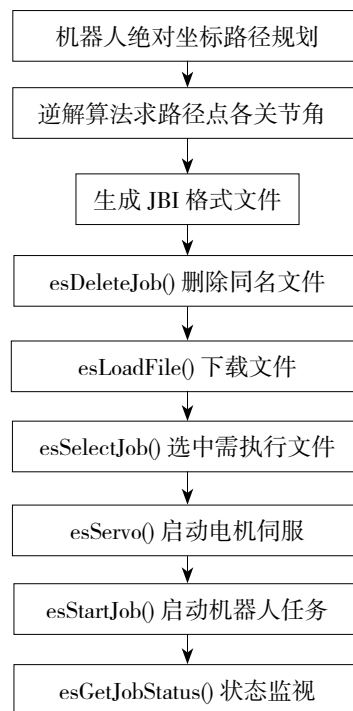


图 5 在线多点连续控制程序流程图

Figure 5 Flow diagram of online multipoint continuous control program

6 结论

机器人电弧快速成型控制系统平台较好的整合了 3D 打印的路径规划算法和机器人运动控制算法, 通过优化设计的人机交互界面, 可方便地进行基础性的一般部件修复和三维快速成形的工艺实验研究, 为以后机器人电弧焊接自由成型的控制方法研究作了良好的铺垫。

参考文献

- [1] 关桥. 焊接/连接与增材制造(3D打印)[J]. 焊接, 2014(5): 1-8.
- [2] 周龙早, 刘顺洪, 丁冬平, 等. 基于三维焊接的金属零件直接快速制造研究[J]. 中国机械工程, 2006, 17(24): 2622-2627.
- [3] 孙哲, 吕耀辉, 徐滨士, 等. 基于CMT焊接快速成形工艺研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 2014, 28(2): 85-88.
- [4] Bonaccorso F, Cantelli L, Muscatto G. An arc welding robot control for a shape metal deposition plant: modular software interface and sensors [J]. IEEE Trans Ind Electron, 2011, 58(8): 3126-3132.
<https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2114311>
- [5] Ding D, Shen C, Pan Z, et al. Towards an automated robot arc-welding-based additive manufacturing system from CAD to finished part [J]. Computer-Aided Design, 2016, 73: 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.12.003>
- [6] 申俊琦, 胡绳菽, 刘望兰, 等. 铝合金焊接快速成型层间间隔时间分析[J]. 焊接学报, 2008(5): 109-112.
- [7] 余东满, 李晓静, 高志华. 快速成型技术工艺特点及影响精度的因素[J]. 机械设计与制造, 2011(7): 112-114.
- [8] 黄丹, 朱志华, 耿海滨, 等. 5A06铝合金TIG丝材—电弧增材制造工艺[J]. 材料工程, 2017, 45(3): 66-72.