

# 机械手实现 3D 打印复杂移动轨迹的设计

曹 弋, 朱兴明, 张 华, 鞠 勇, 曹 源

(南京师范大学南瑞电气与自动化学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 提出了一种使用机械手实现 3D 打印复杂轨迹移动的方法, 采用 3D 打印软件与机械手样条文件结合, 避免了机械手实现复杂轨迹移动时需要大量编程的工作. 介绍了使用 PLC 控制两台机械手的系统结构, 以及两台机械手工作时 PLC 与机械手之间的信号传输, 机械手实现复杂的 3D 轨迹移动的方法具有一定的有效性和实用性.

[关键词] 机械手, 复杂轨迹, 3D 打印, 可编程控制器

[中图分类号] TP242.2 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2019)01-0040-05

## Design for Manipulator to Realize Complex Movement of 3D Printing

Cao Yi, Zhu Xingming, Zhang Hua, Ju Yong, Cao Yuan

(School of NARI Electrical and Automation, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** A method to realize 3D complex track with manipulator is proposed. In order to avoid a great deal of work of manipulator programming for complex moving trail, the paper adopts the method of 3D printing design software combining with mechanical spline files. Meanwhile, the system structure of PLC controls two manipulators and the control signals between manipulators to coordinate the motion are introduced. The method of manipulator to realize complex 3D trail is verified effectively and practicably.

**Key words:** manipulator, complex trail, 3D printing, PLC

在当前智能制造发展中, 使用工业机器人进行生产加工可以极大地提高生产效率, 3D 打印增材制造的生产模式和加工工艺给制造业带来了转变<sup>[1]</sup>, 将机械手应用于 3D 打印, 具有扩大打印范围并可实现多角度打印等优点.

目前 3D 打印的最大尺寸范围是 30 cm×30 cm×30 cm, 对于较大尺寸的打印目前比较有效的方法是将物体拆分成块, Luo 等<sup>[2]</sup>提出将超出打印机尺寸的模型分割成较小的部分分别打印, 然后再通过连接器组合在一起. Song 等<sup>[3]</sup>提出将模型分割成较小部分分块打印, 利用部件间自锁结构重新组合拼装在一起. 使用机械手进行 3D 打印, 可以根据机械手的展臂和底座移动来实现大尺寸物体打印, 从而解决了 3D 打印的尺寸局限.

工业机械手已大量应用于搬运、焊接、喷漆和切削等重复性工作中, 作为实现简单轨迹的重复位移运动的执行器, 与其他机械手的简单位移轨迹相比, 3D 打印需要实现三维的复杂移动轨迹, 由于机械手不能像 3D 打印机一样接受 G 代码等数据, 因此需要将机械手的移动轨迹由 3D 打印的 CAD 软件生成数据, 并进行一系列的数据变换, 来实现机械手复杂轨迹的设计<sup>[4]</sup>.

目前, 通过 3D 打印与机械手的结合, 出现了采用 PUU 并联机器人实现 3D 打印, 在精度、速度和尺寸方面都有待进一步提高<sup>[5]</sup>. 本文叙述了采用三菱六关节机械手 RV-2F-D 带动双喷头实现复杂形状图案的 3D 打印, 介绍了机械手实现复杂轨迹移动的设计方法, 并与三菱水平机械手 RH-6SDHC 组合, 通过 PLC 控制实现了两台机械手的工作, 完成了 3D 打印和产品搬运的完整加工过程<sup>[6]</sup>. 首先介绍 PLC 实现两台机械手控制的系统结构设计, PLC 与机械手之间的控制信号传输, 然后重点阐述了如何使用机械手实现三维复杂轨迹移动的设计方法.

收稿日期: 2017-12-27.

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK20161019).

通讯联系人: 曹弋, 硕士, 副教授, 研究方向: 计算机控制、电磁兼容. E-mail: 61025@njnu.edu.cn

## 1 系统设计

整个系统由 PLC 实现控制,由六关节机械手 RV-2F-D 带动打印喷头实现 3D 打印,水平机械手 RH-6SDHC 实现物料的搬运,PLC 控制水平机械手和六关节机械手的起停,机械手需要将自身状态反馈给 PLC,系统的实物组成如图 1 所示。

## 2 PLC 与机械手之间的信号传输

系统由三菱 Q 系列 PLC 控制,由 PLC 通过控制器控制两台机械手的运动,PLC 还通过温度控制模块 Q64TCTTN 实现双喷头的温度控制、通过定位模块 QD75P4N 实现双喷头的两个出料步进电机的速度控制、传送带和旋转盘的伺服电机进给控制,3D 双喷头通过步进电机实现两种不同颜色的材料出料,各模块之间采用局域网通信,用户输入和系统状态采用触摸屏显示,系统结构图如图 2 所示。

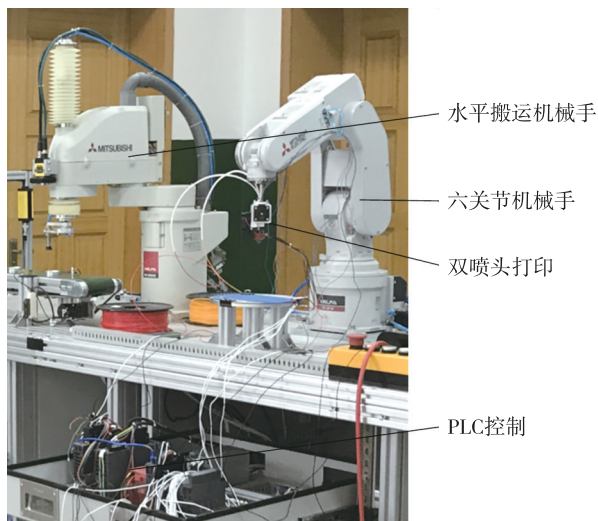


图 1 系统实物结构

Fig. 1 Structure of real product

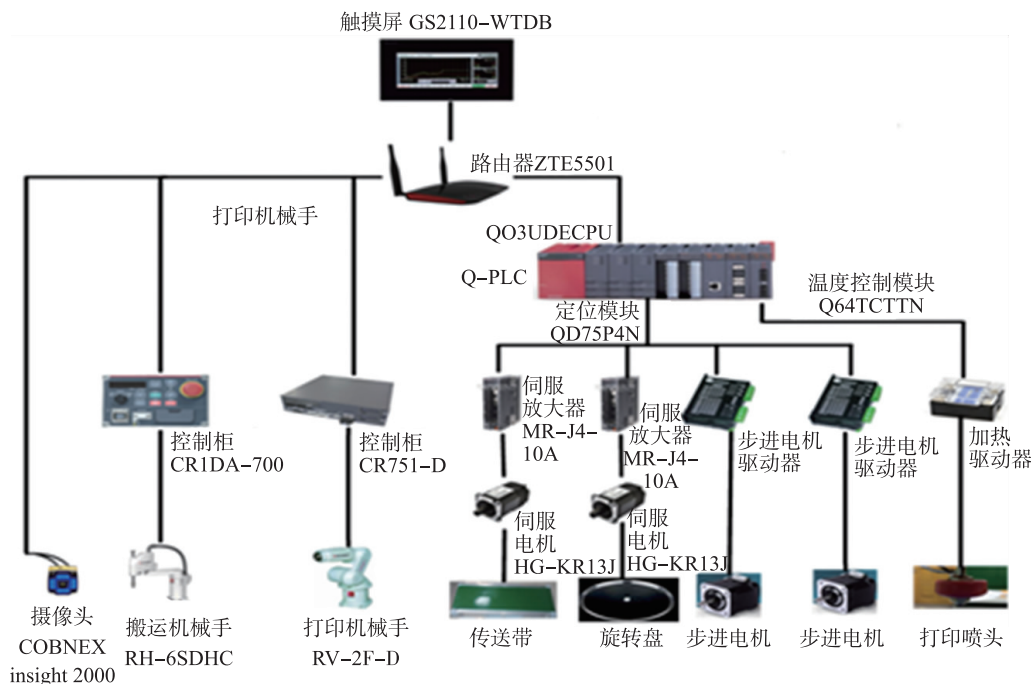


图 2 系统结构图

Fig. 2 Structural drawing of system

### (1) PLC 与机械手的控制信号输入输出接口

PLC 接收操作面板的信号并控制两个机械手动作,其接收的输入信号有两部分:一部分是操作面板的按钮信号,由操作人员实现控制,一部分是机械手反馈的自身信号. PLC 发送的信号分别控制两台机械手,机械手根据 PLC 控制信号实现起动、停止、复位和操作权,打印机械手发送请求信号和开始打印信号给 PLC<sup>[6-7]</sup>,因此 PLC 与两台机械手以及两台机械手之间的控制信号需要互相传递. PLC 与两台机械手的输入输出接口信号如图 3 所示。

### (2) 机械手之间的控制信号

水平机械手由控制器 CR1DA 实现控制,六关节机械手由控制器 CR751 控制,控制器与机械手连接的

两根电缆,其中 CN1 为电源信号,CN2 为控制信号.控制器的选购件卡安装插槽 SLOT1 中的各端口实现机械手之间以及 PLC 之间控制信号的传递,协调机械手之间的动作顺序,水平机械手搬运托盘完毕信号启动六关节机械手打印,打印结束信号则启动水平机械手搬运物料<sup>[6]</sup>.控制器的 EMGIN 和 CNUST1 分别实现急停控制,两台机械手之间控制信号连接示意图如图 4 所示.

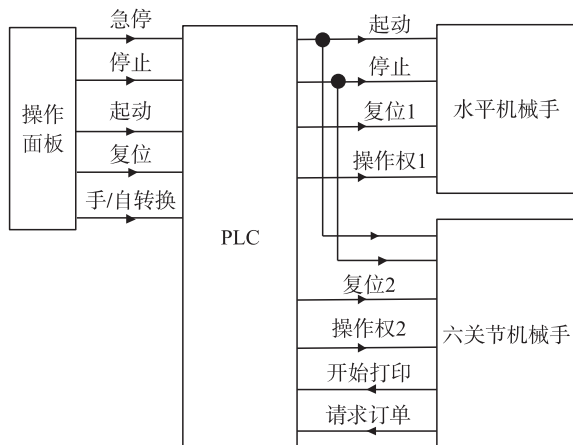


图 3 PLC 与两台机械手信号传输示意图

Fig. 3 Schematic diagram of signal transfer from PLC to manipulator

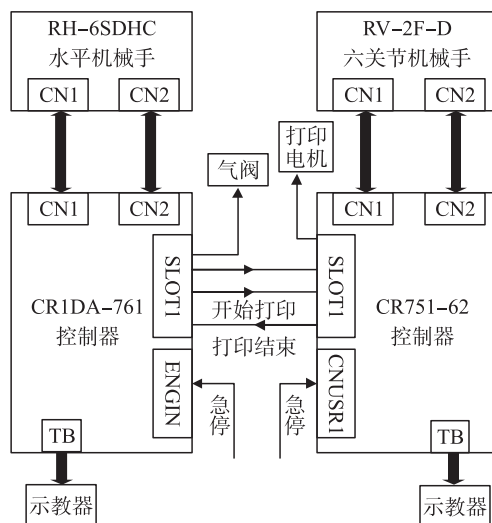


图 4 两台机械手之间信号传输示意图

Fig. 4 Schematic diagram of signal transfer between two manipulators

### 3 机械手实现复杂三维移动轨迹的设计方法

机械手的编程方法包括示教编程和离线编程,示教的方法较难实现复杂轨迹的编程,而离线编程可在不占用机器人作业时间的环境下完成编程作业,且离线编程能够更为灵活的与 CAD/CAM 系统结合使用<sup>[7]</sup>.机械手的重复性运动多采用示教编程方法确定位置,但是对于复杂的三维打印模型,需要设定精确的位置并进行大量移动位置的编程,使用这种方法几乎是无法实现的.

对控制复杂 3D 打印轨迹的机械手采用离线编程,由机械手的样条文件来存储复杂轨迹数据,通过调用存储的不同样条文件来实现各种 3D 模型的打印.样条文件的数据则采用 3D 打印 CAD 设计软件生成,可以实现模型创建、分层切片、自动添加支撑、加工路线规划等功能,生成 G 代码文件,通过 CAD 生成的复杂轨迹数据再进行数据转换就可以使机械手实现 3D 打印复杂轨迹的位置控制<sup>[8]</sup>.

空间机械臂的控制策略采用尖顶从动控制策略,实现方法简单有效,控制效果出色.

#### 3.1 机械手实现复杂 3D 打印移动轨迹的步骤

结合了 3D 模型设计软件来创建机械手的运动轨迹数据,机械手实现复杂 3D 打印移动轨迹的步骤整个设计流程如图 5 所示.

(1)采用三维建模软件 SolidWorks 生成模型文件,根据需要打印的模型设计出相应的模型 STL 文件.

(2)采用 simplify3D 软件对 3D 模型文件进行切片,其不仅能够实现高精度切片文件数据,还能对 3D 打印过程进行模拟仿真,可以减小切片时的误差,将相应的模型文件生成 G 代码文件.

G 代码文件使用专业标准 ISO 8841-1974 给出的坐标系定义,使用位置型常量( $X, Y, Z, A, B, C$ )的表示类型来对机械手进行程序编写,其中( $X, Y, Z$ )为工件上对应点在工件坐标系点的空间坐标位置,( $A, B, C$ )是旋转左边轴线相应地平行于( $X, Y, Z$ )的旋转运动.

(3)打开 G 代码文件,提取其中的  $X, Y, Z$  三维坐标数据,这些数据就是所有 3D 打印模型的轨迹数

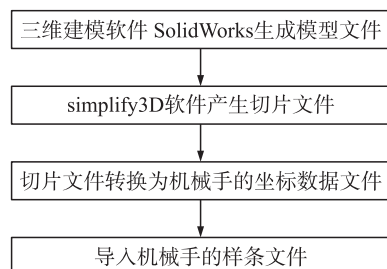


图 5 复杂轨迹设计流程图

Fig. 5 Flow diagram of complex track design



据,然后向文件中加入机械手实现运动所需的其他数据,其他列数据都是固定不变的,将所有列数据补充完整并保存为样条文件格式。在机械手编程软件 RT ToolBox 中导入样条文件,样条文件格式如图 6 所示。

(4) 机械手导入样条文件,并在程序中调用该样条文件数据,机械手可以导入几百个样条文件,各种复杂轨迹数据都可以用不同的样条文件存储。如图 7 所示为 3D 打印产品实例,图 7(a)为产品的运动轨迹在 simplify3D 软件中的显示,图 7(b)为打印该产品的实物图。

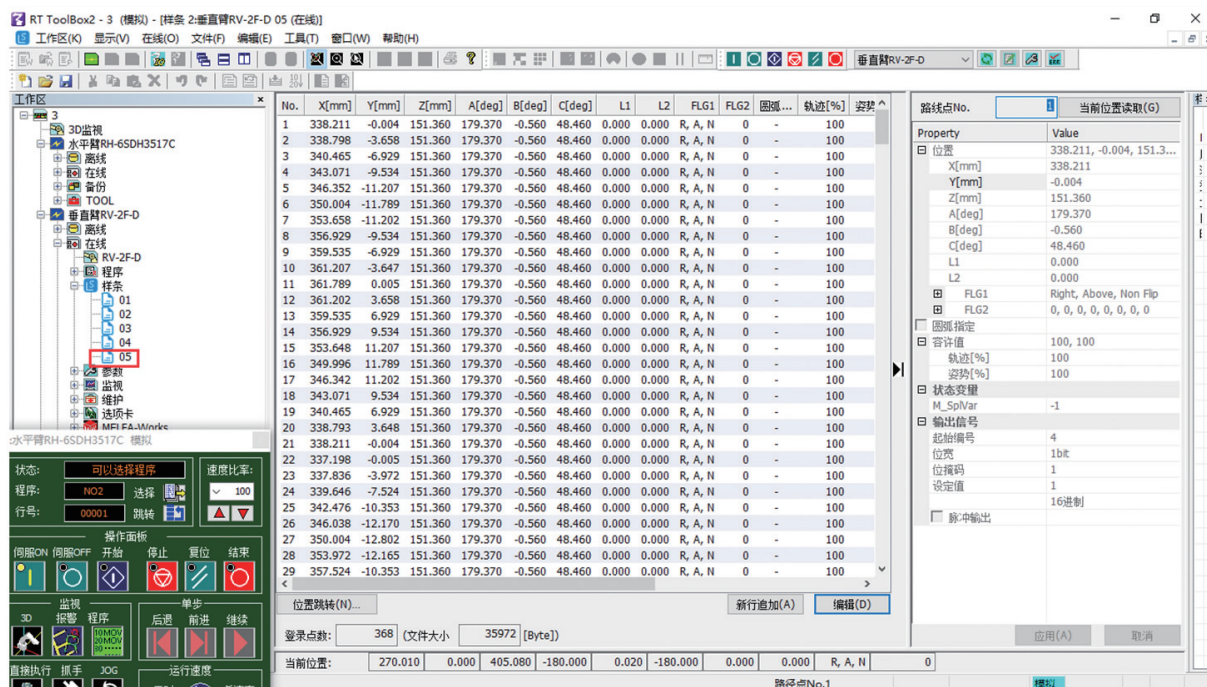
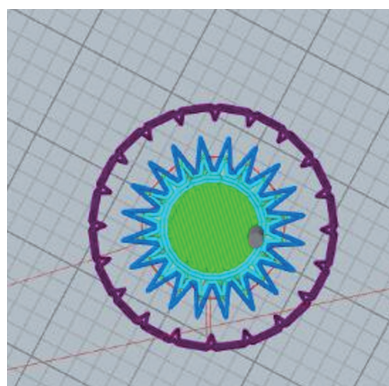
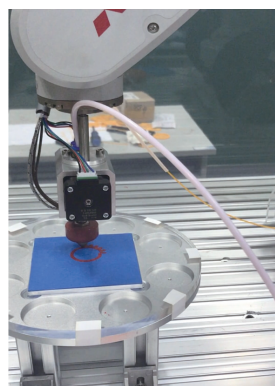


图 6 RT ToolBox 软件中的样条文件

Fig. 6 Spline file of RT ToolBox



(a) 3D打印复杂轨迹



(b) 3D打印过程

图 7 3D 打印产品图

Fig. 7 Picture of 3D product components

### 3.2 使用 CAD 软件生成机械手数据坐标的优点

通过使用专用的 3D 模型设计软件和切片软件,实现机械手的复杂轨迹设计有以下优点:

#### (1) 简化机械手编程的工作量

通常在机械手的编程中在各个不同位置移动时采用一条条指令来实现移动,而复杂的轨迹产生大量的位置,需要大量的机械手移动指令,样条文件可以多达 5 000 个位置点,通过直接调用样条文件就可以大大简化了编程工作量<sup>[9]</sup>。

#### (2) 结合 3D 打印的 CAD 专业软件实现高精度的轨迹设计

对于 3D 复杂模型这种精密的位置移动轨迹采用 3D 打印的专用软件设计,可以实现模型创建、分层

切片、自动添加支撑、加工路线规划等功能,实现高精度的复杂轨迹设计.

### (3) 方便多种模型的变换

机械手的样条文件可以存储好几百种不同模型数据,可以通过设计后将数据存储在,不需要过多更改程序就可以变换不同的模型<sup>[10]</sup>.

## 4 结语

本文介绍了用两台机械手实现3D打印并完成产品的搬运,通过PLC实现两台机械手的控制.本文主要解决了使用机械手实现复杂轨迹控制的方法,采用3D打印CAD软件和机械手的样条文件的结合,解决了复杂的机械手编程问题,并实现了大范围和多角度灵活3D打印.

### [参考文献](References)

- [1] 王文涛,刘燕华. 3D打印制造技术发展趋势及对我国结构转型的影响[J]. 科技管理研究,2014(6):22-25.  
WANG W T, LIU Y H. Development trends 3D printing technology and impact on china's economic restructuring[J]. Science and technology management research, 2014(6):22-25. (in Chinese)
- [2] LUO L, BARAN I, RUSINKIEWICZ S, et al. Partitioning models into 3D printable parts[J]. ACM transaction on graphics, 2012, 31(6):129-131.
- [3] SONG P, FU Z, LIU L. Printing 3D objects with interlocking parts[J]. Computer aided geometric design, 2015, 35(36):137-148.
- [4] 薛国芳. 基于3D打印技术的并联机器人机构的动力学研究[J]. 机床与液压, 2017, 3(45):19-23.  
XUE G F. Research on the dynamics of parallel robot manipulator based on 3D printing technology[J]. Machine tool & hydraulics, 2017, 3(45):19-23. (in Chinese)
- [5] 林君健, 张晓瑾, 林粤科, 等. 基于PLC的示教式直角坐标涂胶机器人控制系统设计[J]. 机床与液压, 2016, 44(3):49-51.  
LIN J J, ZHANG X J, LIN Y K, et al. Design of teaching type control system for cartesian coordinate glue-robot based on PLC[J]. Machine tool & hydraulics, 2016, 44(3):49-51. (in Chinese)
- [6] 田小永, 李涤尘, 卢秉恒. 空间3D打印技术现状与前景[J]. 载人航空, 2016, 22(4):471-474.  
TIAN X Y, LI D C, LU B H. Status and prospect of 3D printing technology in space[J]. Manned spaceflight, 2016, 22(4):471-474. (in Chinese)
- [7] 陈浣, 王建平, 李晓峰. 基于CAD/CAM技术的机器人连续轨迹规划[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2009, 50(8):29-32.  
CHEN H, WANG J P, LI X F. Trajectory planning for industrial robots based on CAD/CAM software[J]. Combined machine tool and automatic machining technology, 2009, 50(8):29-32. (in Chinese)
- [8] 何英, 霍罡, 付新生, 等. 基于PLC的机械手示教控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2010, 26(12):77-78.  
HE Y, HUO G, FU X S, et al. Design of teaching control system for robot hand based on PLC[J]. Microcomputer information, 2010, 26(12):77-78. (in Chinese)
- [9] 邱焕能, 林仕高, 欧元贤. 机器人操作臂离线编程仿真系统[J]. 机床与液压, 2015, 43(21):28-31.  
QIU H N, LIN S G, OU Y X. Off-line programming simulation system of robotic manipulators[J]. Machine tool & hydraulics, 2015, 43(21):28-31. (in Chinese)
- [10] 肖文磊, 郇极. 切削加工机器人与CAD/CAM系统集成化[J]. 机械工程学报, 2011, 47(15):52-60.  
XIAO W L, HUAN J. Integration of a cutting robot with CAD/CAM system[J]. Journal of mechanical engineering, 2011, 47(15):52-60. (in Chinese)

[责任编辑:陈 庆]