

工业机器人实训平台模块化可重构软件系统研究

陈晖²,于殿勇¹,梁凤顺²,边塞英男¹

(1. 哈尔滨工业大学,黑龙江 哈尔滨 150006; 2. 福建(泉州)哈工大工程技术研究院,福建 泉州 362008)

摘要:工业机器人实训平台合理的模块划分方案为快速重构功能奠定了基础,而多任务的快速切换还需要通过各功能模块间的快速聚类过程来实现,其研究核心在于聚类的流程和算法。根据各功能模块间的相关性关系,研究并构建模块间的知识库和知识表达形式,完成模块的参数化定义。利用圆截法定位所有功能模块的接口,构建模块快速重构的流程和算法。模块化可重构软件系统的研究,为实现工业机器人实训平台的快速重构功能提供技术基础。

关键词:工业机器人;实训平台;模块化可重构;软件系统

中图分类号:TP242.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)02-0093-03

Research on Modular and Reconfigurable Software System of Industrial Robot Training Platform

CHEN Hui², YU Dianyong¹, LIANG Fengshun², BIAN Saiyingnan¹

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China;

2. Fujian (Quanzhou) Institute of Harbin Institute of Technology, Quanzhou 362008, China)

Abstract: As the reasonable module division scheme lays the foundation for realizing the rapid reconfigurable function of the industrial robot training platform, and the rapid multi-task switch needs to be realized through the rapid clustering process of the function modules, the research core lies in the clustering process and algorithm. According to the correlation between the functional modules, knowledge base and expression form are studied and built to complete the parametric definition of the functional modules. The interfaces of the function modules are defined by the circular cut position, and the process and algorithm of the rapid reconstruction of the function modules are constructed. The research on the modular and reconfigurable software system provides a technical basis for the rapid reconfigurable function of industrial robot training platform.

Keywords: industrial robot; training platform; modular and reconfigurable; software system

0 引言

目前,市场上常见的教育机器人受其构形限制,仅能完成单种教学任务,无法满足学生对机器人系统的组成、编程控制、功能实现、传感器技术等较深层次了解与实现的需求^[1]。为了实现工业机器人实训平台多教学任务的高频切换,需要实训平台的物理空间跟随任务空间进行快速重构。工业机器人实训平台模块化可重构的研究需要从机械结构层、电气硬件层、嵌入式控制层、上位控制层等多维度展开。

工业机器人实训平台合理的模块划分方案为实现实训平台的快速重构功能奠定了基础,而多任务的快速切换还需要通过各功能模块之间的快速重构来实现。功能模块的快速重构是一个模块聚类的过程,其核心在于聚类流程和算法的研究。1965年,ZADEH L A 教授首次提出了“集合”的概念,经过 50 多年的发展,模糊聚类理论逐渐在各领域得到广泛应用,并涌现出了许多以模糊聚类理论为数学基础的聚类分析算法,例如遗传算法(GA)、神经网络

络算法(SOM)、模糊 C 均值聚类算法(FCM)等^[2]。国内针对聚类分析算法也进行了一系列的研究,张尧等于 2021 年提出一种基于特征选取的模糊局部信息 C 均值聚类算法,增强了模糊局部信息 C 均值聚类算法的鲁棒性和分割性能^[3]。

基于功能模块的快速重构流程和算法构建,为实现工业机器人实训平台的快速重构功能提供技术基础。

1 实训平台模块快速重构流程

基于知识重用理论快速重构流程如图 1 所示,主要包括:构建知识库、构建知识表达形式、接口约束转化、构建重构算法等步骤^[4]。首先,研究和分析各功能模块间的知识组成、接口的匹配关系、接口的约束关系等,从而构建模块知识库,知识库一般由接口库、接口匹配关系库、接口约束库等组成;其次,利用模块的知识库数据,构建模块间的模块有向图、函数关系以及模块关系邻接矩阵,形成模块间的知识表达形式;然后,通过圆截法定位每个模块的所有接口,并完成接口转化;最后,通过构建重构流程和

基金项目:国家重点研发计划课题项目(2019YFB1312602)

第一作者简介:陈晖(1991—),男,福建建宁人,工程师,硕士,研究方向为机器人技术。

算法,完成功能模块的快速定位并重构,得到满足任务需求的最佳模块组合。

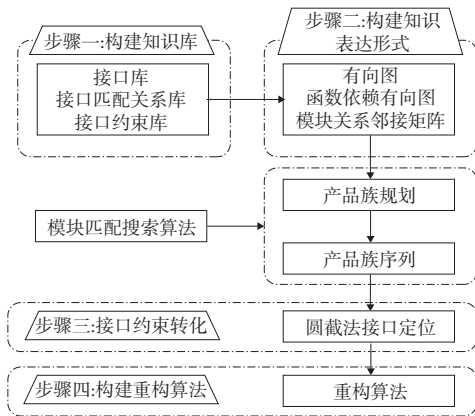


图1 模块快速重构流程图

2 构建实训平台知识库

产品模块化设计体现的是可分性、可变性、功能性、整体性和关联性等方面的特征,同时也体现了模块内部特征和外部特征,产品模块化设计需要经过一定的过程才能得以实现。模块化产品的知识库是包含各功能模块之间相互关系的接口信息库,一般包含了接口库、接口匹配关系库、接口约束库等^[5]。

功能模块知识库的构建核心在于对各模块接口、匹配关系、约束关系进行参数化设定,并完成数字化编码。模块的参数化设定需要考虑模块的自身信息和模块间的关联属性;模块的自身信息体现了模块在系统中的定位和角色,体现了模块的功能、装配、空间及信息等元素独立性;模块间的关联属性体现了模块与模块之间的功能、装配、空间及信息等元素相关性。模块的数字化编码需要考虑方便模块的管理、重组和匹配,具备完整性、唯一性、继承性和可读性的特点,即编码信息需要体现模块的完整信息、编码信息具有唯一性、编码信息要方便修改与增减、编码信息要方便理解和读取^[6]。

基于工业机器人实训平台的任务需求,可以总体划分为功能级模块、执行级模块、动作级模块三个层级,各层级对应多个模块组成。模块与模块之间的交流有实际交流和广义交流,其中实际交流指模块间的参数传递、信息传输等,广义交流则是指空间关联、功能连续等。实训平台模块参数化数据结构如图2所示。

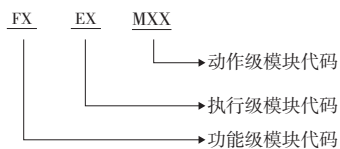


图2 模块参数化数据结构

结合前述工业机器人实训平台模块划分的方案,依据以上模块编码规则,得到实训平台模块编码如表1所示。

表1 实训平台模块编码表

功能级模块 F	执行级模块 E	动作级模块 M
动力源模块	A 供电系统	01 通电 02 断电
	B 供气系统	01 通气 02 断气
驱动模块	A STM32 主控板	01-xx 控制电位
	B 驱动器	01 启动 02 停止 03 速度 04 加速度
存储模块	A 原材料库	01 有 02 无 03 类型
	B 成品库	01 有 02 无 03 类型
	C 一类夹具库	01 有 02 无 03 类型
	D 二类夹具库	01 有 02 无 03 类型
装配模块	A 旋转台	01-xx 旋转台工位 xx
	B 一类夹具	01 -xx 工装类型 xx
	C 二类夹具	01-xx 夹具类型 xx
执行模块	A 机械臂	01 动作 02 停止 03 坐标
	B 直线模组	01 启动 02 停止 03 速度 04 加速度
	C 输送线	01 启动 02 停止 03 速度 04 加速度
检测反馈模块	A 传感开关	01 触发 02 断开
	B 按键开关	01 触发 02 断开
	C 视觉系统	01 触发 02 断开 03 结果反馈
信息处理模块	A 通信控制	01 发送 02 接收
	B 信息读写	01 读取 02 写入
	C 信息处理	01 发送 02 接收
	D 逻辑控制	01-xx 具体逻辑
	E 日志管理	01 读取 02 写入
	F 人机交互	01 输入 02 输出

3 构建实训平台知识表达形式

模块化产品知识库的建立,实现了模块信息标准化、参数化、代码化,为重构算法的实现奠定了基础。为了实现重构算法,还需要研究模块知识库数据间的函数关系,构建合理的函数表达形式,方便将知识库的信息和关系进行程序化管理。常用的知识表达形式有模块有向图、函数依赖有向图、模块关系邻接矩阵。

模块之间能否进行直接匹配取决于模块之间的相关性,模块的参数化是基于功能模块的参数化,编码蕴含的信息是表示模块在功能流中的位置和其他功能流模块之间的联系,所以模块之间能否直接进行匹配主要通过接口进行确定^[7]。工业机器人实训平台模块关系邻接矩阵构建的一般规则为:若*i*模块与*j*模块间能够进行匹配,若匹配性判断成立,则在有向图中对应的顶点 v_i 与 v_j 间存在相关性连接,可添加一条弧,邻接矩阵值则增加1,矩阵中的元素为 $b_{ij} = \sum \langle v_i, v_j \rangle$ 。根据前述工业机器人实训平台的模块划分方案,总共有7个功能模块。可从图中得到7个顶点,则可以形成7×7阶的实训平台功能级模块关系

邻接矩阵如式(1)所示。

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

4 构建实训平台接口约束转化

所谓接口是体现模块与模块之间的约束关系,体现了模块的功能、装配、空间和信息特征。因此,接口约束不同于传统的几何约束,从本质上来说,接口约束是若干相关模块的相关性约束,是一种形式化的语义描述。圆截法是在模块化产品系列对应的模块函数依赖有向图中,以各个顶点为圆心, R 为半径画圆,在保证该圆不与其他顶点干涉的基础上,沿着逆时针方向与该节点的各弧依次相交。然后从单入弧开始进行逐一标记,从而定位该顶点包含的所有接口。以实训平台执行模块 f_{11} 为例,其包含了机械臂 f_{21} 、直线模组 f_{22} 、输送线 f_{23} 三个功能子模块,其圆截法接口定位如图 3 所示。

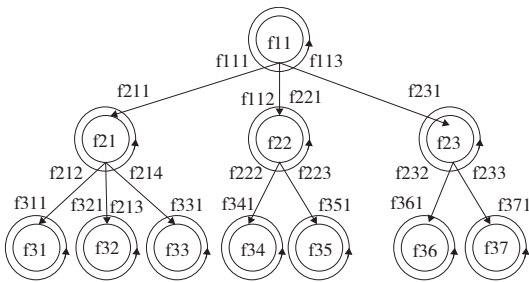


图 3 圆截法接口定位图

5 构建实训平台重构算法

模块重构是模块化产品实现多功能快速切换的基础,其核心在于任务切换过程中快速准确地定位到所需要的模块集,并依照设定的逻辑控制原理实现模块间的接口匹配。模块集的快速定位是自上而下的过程,一般产品的重构是基于功能需求为导向的,故将任务模块作为起始模块来展开模块的匹配。起始模块集 M_b 确定后,将其他的模块列入备选模块集 M_n ,结合知识库和知识表达形式数据作为匹配依据,对备选模块集 M_n 中的模块进行逐一匹配。从起始模块的起始顶点 V_b 出发,依次寻找备选模块集 M_n 中与 V_b 存在弧的顶点 V_i ,并将此顶点 V_i 与起始顶点 V_b 合并覆盖原有的起始顶点集 V_b ,并对起始模块集 M_b 和备选模块集 M_n 进行更新,直到备选模块集 M_n 中的所有模块匹配完成,则基于任务需求的模块快速重构工作完成,顶点集 V_b 即为所需的重构方案,模块重构原理如图 4 所示^[8]。

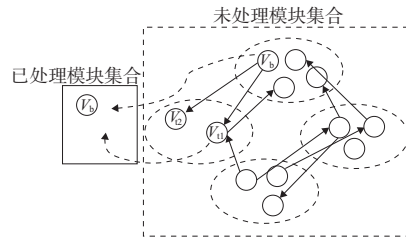


图 4 模块重构原理图

根据模块重构的基本原理,可通过以下流程完成工业机器人实训平台功能模块快速重构响应,实训平台的重构算法流程如图 5 所示。

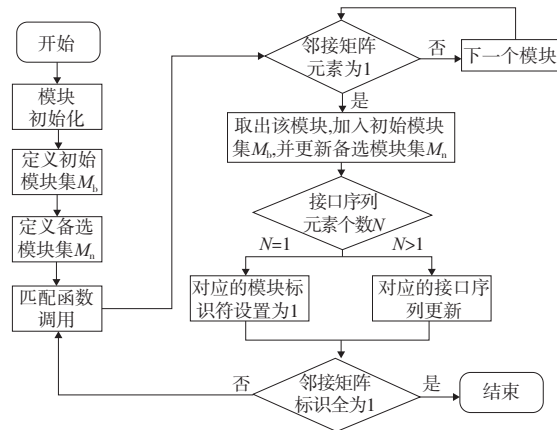


图 5 重构算法流程图

STEP1:从工业机器人实训平台的功能模块中定义起始模块并创建起始模块集 M_b ,起始模块的起始顶点 V_b 定义为模块筛选的起始点,其余模块定义到备用模块集 M_n 中;

STEP2:查询 V_b 的后序接口,选出所有符合条件的接口组合,并与备选模块集 M_n 中所有模块进行接口匹配查询;

STEP3:对集合 M_b 中所有的模块进行遍历,与 M_n 中的所有模块进行匹配性判断,如果通过匹配,则将其作为初始模块加入集合 M_b ,再次进行筛选;

STEP4:对当前集合 M_b 进行遍历处理,若后序相关性接口为空集,则跳转至 STEP6;若不为空集,则跳至 STEP5;

STEP5:遍历 M_n 集合中所有与 M_b 集合中的模块存在匹配关系但是未被处理的模块,对上面步骤进行重复;

STEP6:模块重组完成。

6 运行测试

在 Visual Studio 程序化语言编辑平台上进行代码编写和试运行测试,以电池装配任务为例,主要分为 4 个步骤完成:首先,对所有模块进行初始化设定;其次,调用匹配函数,针对电池装配任务所关联的模块进行调用;然后,对符合条件的模块进行赋值设定;最后,利用调试器试运行程序,未出现逻辑错误,试运行测试成功完成。将试运行测试过程中所有测试履历及数据记录进行系统合理性分析,并整理归档。

(下转第 100 页)

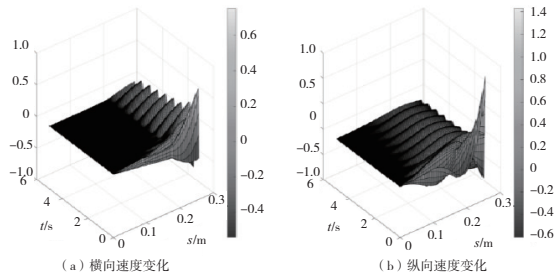


图 10 章鱼仿生臂横向、纵向速度变化

3 结语

通过力学理论和 Newton-Euler 迭代算法实现了仿生机械臂力学模型的构建和求解,并根据章鱼仿生原理设计和制作了仿生机臂样机,最后通过实验平台对仿生机臂动力学模型进行了试验验证。试验表明:本文构建的仿生机臂力学模型准确性高,计算误差较小,为仿生机臂的建模提供了一种新的建模参考。

参考文献:

- [1] 鲍官军,张亚琪,许宗贵,等. 软体机器人气压驱动结构研究综述[J]. 高技术通讯,2019,29(5):467-479.

- [2] 闵剑,刘朝雨,王江北,等. 模块化软体机器人多模式运动分析[J]. 西安交通大学学报,2020,54(3):126-133.
- [3] 李博,孙文杰,姜磊,等. 电话性双稳态机构及其在软体机器人中应用的研究进展[J]. 机械工程学报,2020,56(19):43-52.
- [4] 陈刚,邹元富,李伟,等. 面向结肠镜软体机器人设计与建模仿真[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2020,34(12):157-162.
- [5] 林用满,管卫华,甘莉莉. 六自由度水果采摘机械臂结构设计与试验[J]. 中国农机化学报,2019,40(2):62-71.
- [6] 尹顺禹,许艺,岑诺,等. 软体智能机器人的系统设计与力学建模[J]. 力学进展,2020,50(0):195-220.
- [7] 董虎,林苗,顾苏程,等. 多向气动驱动器软体仿生舌弯曲状态的研究[J]. 北京航空航天大学学报,2019,45(9):1882-1893.
- [8] 郭亚星,郑继贵,侍威,等. 基于绳索欠驱动连续型机械臂设计及仿真[J]. 导弹与航天运载技术,2021(2):92-96.
- [9] 吴扬,吴胜同,裘旭冬,等. 基于 Simcenter3D 的舱门刚柔耦合动力学仿真分析[J]. 机械制造与自动化,2021,50(5):129-131.
- [10] 李冰玉,阚子云,彭海军,等. 基于张拉整体结构的连续型弯曲机械臂设计与研究[J]. 机器人,2020,42(6):686-696.

收稿日期:2021-10-08

(上接第 80 页)

- [8] 秦旭达,唐心凯,葛恩德,等. CFRP 三维铣削仿真模型的建立及层间损伤分析[J]. 宇航材料工艺,2020,50(1):22-29.
- [9] 张韩斌,任成祖,张立峰,等. C/SiC 复合材料纳米压痕有限元仿真[J]. 材料科学与工程学报,2016,34(1):49-53,74.
- [10] 杜翔宇. 2.5 维编织 C/SiC 复合材料含孔连接结构破坏的多尺度模拟[D]. 南京:南京航空航天大学,2019.
- [11] YUAN S M, FAN H T, AMIN M, et al. A cutting force prediction dynamic model for side milling of ceramic matrix composites C/SiC based on rotary ultrasonic machining[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016,86(1/2/3/4):37-48.
- [12] ZHANG X W, YU T B, ZHAO J. An analytical approach on

stochastic model for cutting force prediction in milling ceramic matrix composites [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2020,168:105314.

- [13] CEPERO-MEJÍAS F, CURIEL-SOSA J L, BLÁZQUEZ A, et al. Review of recent developments and induced damage assessment in the modelling of the machining of long fibre reinforced polymer composites[J]. Composite Structures, 2020,240:112006.
- [14] 张勋,陈燕,徐九华,等. 大直径碳纤维复合材料三维铣削有限元仿真及试验研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2020,40(2):53-60.

收稿日期:2021-10-29

(上接第 95 页)

7 结语

通过对工业机器人实训平台模块化可重构软件系统的研究,构建了各模块间的知识库和知识表达形式,完成所有模块的参数化定义。同时,研究并构建了功能模块快速重构的流程和算法,并在 Visual Studio 平台上完成了重构算法程序的运行测试,积累了实训平台软件系统的设计和实测数据。针对实训平台模块化可重构软件系统的设计不足之处,明确了后续优化方向,为实现工业机器人实训平台的快速重构功能提供技术基础。

参考文献:

- [1] 周杰,孙可儿,江源,等. 可重构模块化机器人与教育产业的融合发展探索[J]. 中国市场,2020(31):71-72.
- [2] ZADEH L A. Similarity relations and fuzzy orderings [J].

Information Sciences, 1971,3(2):177-200.

- [3] 张尧,吴成茂,白鹭. 基于特征选取的局部模糊聚类算法研究[J]. 光电技术应用,2021,36(3):35-42.
- [4] 黄康,陈祥,朱晓慧,等. 基于知识重用的模块化快速重组方法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2016,39(7):880-886.
- [5] 王晓兵. 机械产品模块化设计策略[J]. 内燃机与配件,2021(7):194-195.
- [6] 安燕霞,曲秀秀,吕天波. 军用航空发动机 IETM 数据模块编码规则研究[J]. 航空维修与工程,2021(5):26-29.
- [7] SU X Y, MAHADEVAN S, XU P D, et al. Dependence assessment in human reliability analysis using evidence theory and AHP [J]. Risk Analysis: an Official Publication of the Society for Risk Analysis, 2015,35(7):1296-1316.
- [8] 朱二周,孙悦,张远翔,等. 一种采用新型聚类方法的最佳类簇数确定算法[J]. 软件学报,2021,32(10):3085-3103.

收稿日期:2021-11-03