基于 PLC 与工业机器人的自动生产线智能包装系统设计*

孟静静　郝　睿　王惠卿　张　洋
（长春汽车工业高等专科学校电气工程学院，吉林 长春 130011）

摘　要：在自动生产线过程中，工业机器人采用 ABB IRB120 6 轴机器人将物料瓶放入物料台包装盒中，待包装盒工位放满物料后，由工业机器人加盖。加盖完成后根据瓶盖颜色对盒盖指定位置分别贴标签，贴签完成后通知智能仓储单元入库，实现了智能包装过程。通过 RobotStudio 离线编程软件搭建仿真系统，合理规划生产资源降低开发成本，缩短开发周期，提高工作效率，进而优化自动控制系统，达到预期效果。

关键词：RobotStudio；工业机器人；离线编程；智能包装
中图分类号：TP242　　**文献标识码：**A
DOI：10.19287/j.cnki.1005-2402.2021.11.012

Design of intelligent packaging system for automatic production line based on PLC and industrial robots

MENG Jingjing，HAO Rui，WANG Huiqing，ZHANG Yang
（School of Electrical Engineering，Changchun Automobile Industry Institute，Changchun 130011，CHN）

Abstract：In the process of automatic production line, the industrial robot uses ABB IRB120 six axis robot to put the material bottle into the packing box of the material table. Label the box lid according to the color of the bottle lid, and notify the intelligent storage unit to store it. The intelligent packaging process is realized. The simulation system is built by the off-line programming software of RobotStudio, which can reduce the development cost, shorten the development cycle, improve the work efficiency and optimize the automatic control system to achieve the desired effect.

Keywords：RoboticsStudio; industrial robots; off-line programming; intelligent packaging

工业机器人自动化生产线成套设备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向，在国内外许多领域都得到广泛的应用[1-2]。

2014-2019 年 5 年时间里，全球机器人安装量增加近 85%。2020 年，新冠疫情席卷全球，世界经济形势陷入低迷。中国由于控制疫情较为得当，率先摆脱困境，成为全球唯一正增长的主要经济体，工业机器人产量增速也由负转正，保持着上涨势头。2020 年中国工业机器人产量为 23.7 万套，累计增长 19.1%。我国是全球第一大工业机器人应用市场。随着生产制造智能化改造升级，工业机器人市场将持续旺盛。我国工业机器市场规模达巨大，从“中国制造”走向“中国智造”[3]。机器人技术发展势不可挡、大势所趋，已被列入“中国制造 2025”十大重点领域的第二位[4]。工业机器人体积庞大，运动轨迹范围较大，调试起来较为复杂，因此在应用工业机器人的前期通常借助于机器人专业仿真软件。在软件环境中模拟生产线运行过程，并进行调试，可有效降低生产成本、安全风险等[5]。ABB 工业机器人是由瑞典 ABB 公司生产，同时他们还开发了 RobotStudio 计算机仿真软件，该软件功能巨大，可以在线仿真编程示教功能，还有 CAD 模型导入、动态仿真和碰撞检测等功能。软件中的参数跟环境跟真实机器人都相同，以及仿真示教器、控制器以及 IO 信号模块以及指令都同真实机器人一样。因此，可以

* 吉林省教育厅 2018 年职业教育与成人教育教学改革研究课题“机械加工仿真系统研究”（2018ZCY404）；长春汽车工业高等专科学校教研课题“基于产教融合的校内实训室建设与升级”（XJKT2111）

在仿真软件中编写以及调试程序,就可以模拟真实环境,将程序调试好后导入到真实工业机器人中只需要校正真实环境中的轨迹点就可以正常应用。

1 智能包装系统设计

智能包装自动化生产线中由上料单元、加盖拧紧单元、智能分拣单元、工业机器人搬运单元和智能仓储单元5个工作单元组成,实现空瓶上料、颗粒物料上料、物料分拣、颗粒填装、加盖、拧盖、物料检测、瓶盖检测、产品分拣、机器人搬运合格产品入盒、盒盖包装、贴标及入库等自动生产全过程。本文针对工业机器人搬运单元研究机器人工作布局、运动轨迹、离线编程实现控制要求,完成盒盖包装以及贴签工作。本系统采用ABB IRB120机器人,ABB推出一款迄今最小的多用途工业机器人,紧凑、敏捷、轻量的六轴IRB 120,仅重25 kg,荷重3 kg,工作范围达580 mm。紧凑的机型结合轻量化使IRB120具有卓越的经济性与可靠性,具有低投资、高产出的优势。本系统通过机器人与PLC之间的连接实现智能控制过程,并通过人机界面MCGS实现触摸屏上位机监视与控制。

1.1 系统总体设计

根据智能包装自动生产线控制要求,结合ABB工业机器人在现实生产制造中的应用,前序分拣单元完成后合格的瓶装物料放入待包装区,工业机器人搬运单元有两个升降台机构存储包装盒和包装盒盖;升降台A将包装盒推向物料台上;6轴机器人将物料瓶抓取放入物料台上的包装盒内;包装盒4个工位放满物料瓶,如图1所示。

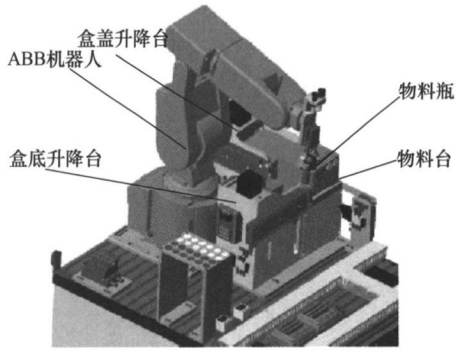

图1 机器人工作站

物料放满之后6轴机器人从升降台B上吸取盒盖,盖在包装盒上;6轴机器人根据瓶盖的颜色对盒盖上标签位进行分别贴标,贴完4个标签后通知智能仓储单元入库。贴标签如图2所示。

1.2 系统设计流程

(1)系统设计流程图如图3所示。

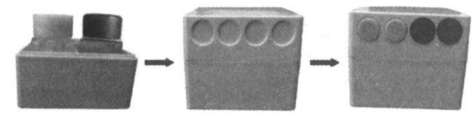

图2 贴标签过程

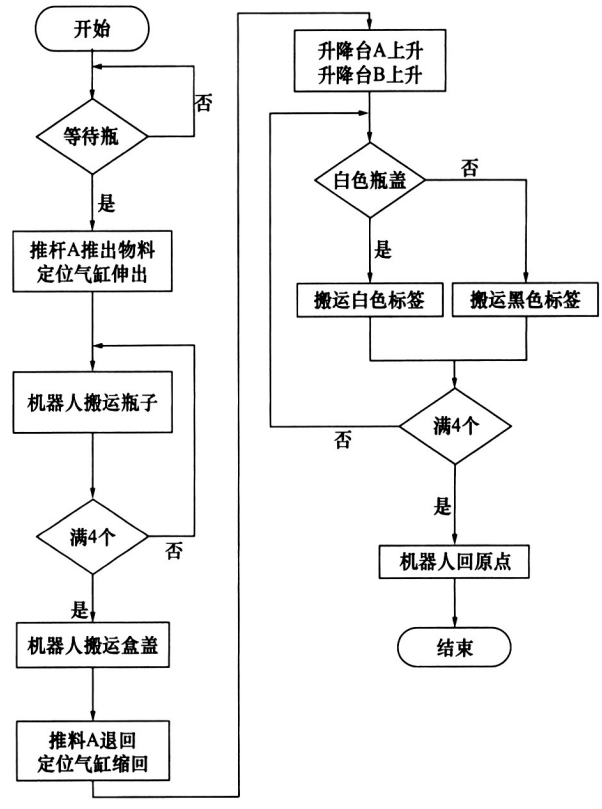

图3 系统设计流程图

通过PLC编程实现总体编程,PLC与机器人进行数据通信,配置好IO点,关联PLC与机器人的输入输出点。最终实现整体系统设计。

(2)工业机器人搬运单元底盒升降机构的推料气缸将物料底盒推出到包装工作台上,同时定位气缸伸出,物料台检测传感器动作,该单元上的机器人开始自动执行瓶子搬运功能,其运行轨迹如图4。

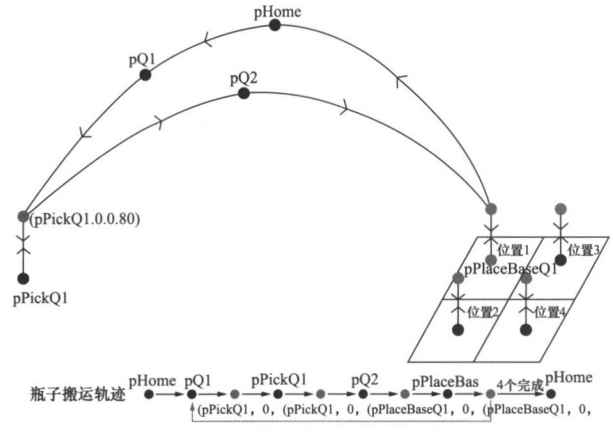

图4 瓶子搬运轨迹示意图

(3)当盒子中装满4个瓶子后,机器人开始自动

执行盒盖搬运功能,其运行轨迹如图5。

(4)机器人盖好盒盖后,开始自动执行标签搬运功能,标签的粘贴与物料装到盒子中盒盖的颜色对应。其运行轨迹如图6。

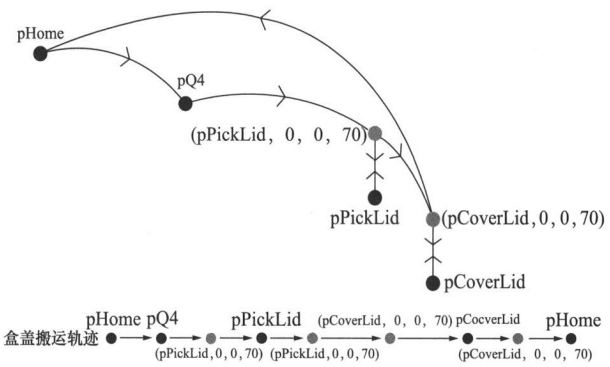

图5 盒盖搬运轨迹示意图

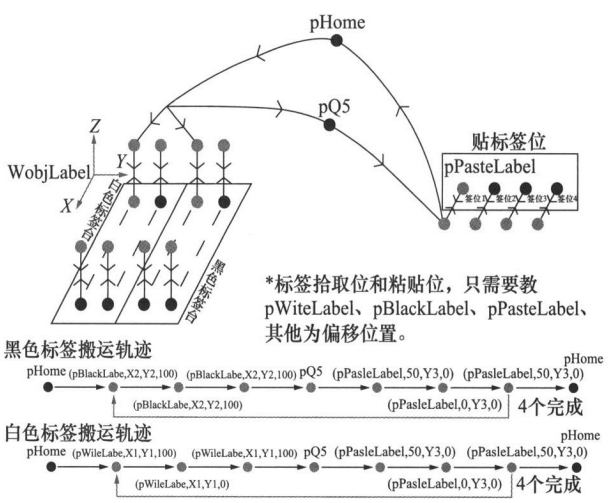

图6 标签搬运轨迹示意图

2 系统设计

系统控制器使用三菱 FX2N 系列 PLC 进行编程。在 PLC 中软件编程实现推料气缸动作及检测,步进驱动器实现升降台 A、升降台 B 的动作运行,检测伺服驱动器的脉冲数,对升降台的升降位置进行精确定位。通过机器人仿真软件 RobotStudio 在工作站中编辑机器人程序,机器人完成瓶的搬运、盖瓶盖以及贴标签的动作。RobotStudio 自带机器人库、模型库等模型,可根据要求选用相应型号的机器人并直接加载到工作站中[6]。实现工作站的运行动态效果,在软件中建立机器人工作站,创建好工具坐标工件坐标以及有限载荷等参数。真实的工作环境中以 PLC 作为中央控制系统,将 PLC 与机器人等设备 I/O 板进行连接,接收现场传感器和工业机器人等发送来的信号[7]。在机器人工作站中配置机器人 IO 信号板,信号板选择 DSQC652 板,配置端子 DeviceNet 中 Address 地址为10。Singal 信号中添加机器人的 IO 信号,定义使用的 IO 信号[8]。表1为机器人需要配置的系统 IO。机器人与 PLC 之间的 IO 信号通信,直接点对点连接完成。其中表2为两者之间的信号关系。

表1 机器人系统 IO

序号	机器人 IO	系统 IO	注 释
1	DI1	Stop	机器人程序停止运行
2	DI3	Motors On	机器人电机上电
3	DI4	Start At Main	从机器人主程序启动(机器人正在运行,此功能无效)
4	DI5	Reset Execution Error	机器人报警复位
5	DI6	Motors Off	机器人电机下电
6	DO1	Auto On	机器人处于自动模式
7	D03	Emergency Stop	机器人急停中
8	D04	Execution Error	机器人报警
9	D05	Motor On	机器人电机上电(机器人未同步,此信号闪烁)
10	DO6	Cycle On	机器人程序正在运行中

表2 机器人与 PLC 信号对应表

序号	机器人 IO	PLC 信号	说明
1	IN0	Y20	Stop 机器人程序停止运行
2	IN1	Y21	备用
3	IN2	Y22	Motors On 机器人电机上电
4	IN3	Y23	Start At Main 从机器人主程序启动
5	IN4	Y24	Reset Execution Error 机器人报警复位
6	IN5	Y25	Motors Off 机器人电机下电
7	IN6	Y26	备用
8	IN7	Y27	备用
9	IN8	Y30	开始搬运信号
10	IN9	Y31	瓶搬运
11	IN10	Y32	瓶盖搬运
12	IN11	Y33	标签搬运
13	IN12	Y34	标签颜色
14	OUT0	X20	Auto On 机器人处于自动模式
15	OUT1	X21	备用
16	OUT2	X22	Emergency Stop 机器人急停中
17	OUT3	X23	Execution Error 机器人报警
18	OUT4	X23	Motor On 机器人电机上电
19	OUT5	X24	Cycle On 机器人程序正在运行中
20	OUT6	X25	回到原点
21	OUT7	X26	瓶搬运完成
22	OUT8	X27	盖搬运完成
23	OUT9	X30	标签搬运完成
24	OUT10	X32	正在运行

3 机器人工作站软件系统编程

3.1 PLC 编程实现升降台 A、B 动作要求

驱动部分使用步进驱动器，连接 PLC 的 I/O 信号，在 PLC 中编程完成脉冲设置。设置步进驱动器的拨码为 01110111，设置步进驱动器的锁机电流大小为 1.04 A，设置细分表为 400，主要用于位移脉冲控制。在 PLC 中通过寻找原点，绝对位移以及相对位移完成升降台的运动距离，经现场多次测定每一个物料盒上升的脉冲数为从原点位置往上运动脉冲为 2 500，此数据根据多次测量所得的理想脉冲数。其中位移脉冲主要程序如图 7。

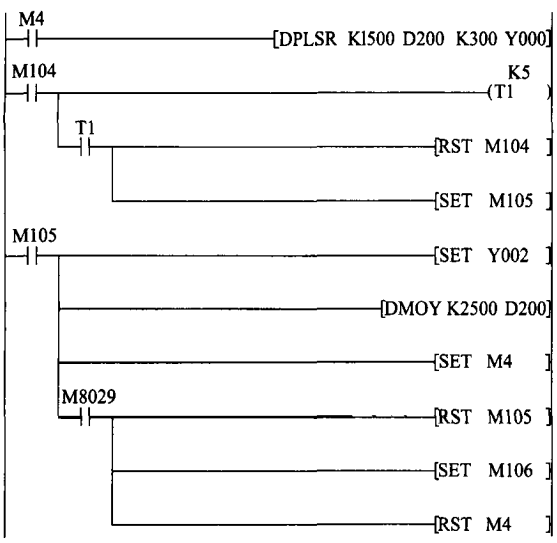

图7 PLC位移脉冲编程

3.2 机器人离线编程

ABB 工业机器人的程序包括系统模块和用户建立的模块，在用户模块中创建模块完成多个控制要求编，通过创建模块构建机器人的程序[9]。工业生产中机器人很多的场合用于物品的搬运。主要包括水平搬运和水质搬运，本系统中的搬运属于水平搬运范畴，机器人从物料台中取出物料放入到指定的物料盒里，将物料盒装满后将物料盒盖上盒盖，之后对所放入的物料进行贴标签动作，贴完所有标签，一个动作流程完成。实现的搬运过程比较复杂。通过离线编程实现机器人运动轨迹动作要求，在 RobotStudio 软件软中创建机器人工作站，并创建系统，在编程模块通过使用偏移指令完成物料移动的动作，完成机器人将物料放入物料盒，并贴入标签的动作。并在实际工作中校验机器人点位即可实现上述搬运过程控制。图 8 为搬运瓶动作的流程图。

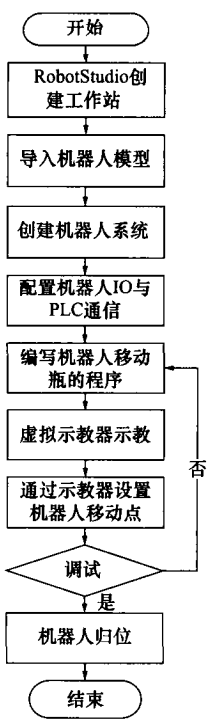

图8 搬运瓶流程图

3.3 上位机触摸屏实现

本系统采用了 MCGS 触摸屏实现了上位监控功能，在触摸屏画面监控到机器人工作站各个位置到位信号。

整个系统分别设计了上料工作站、加盖拧紧工作站、智能分拣工作站、工业机器人搬运工作站、智能仓储工作站，根据生产的实际情况实现整个系统全部自动化运行，将所有的工作站建立通信连接，采用 RS485 进行通信。

物料在多个工作站之间完成不同的工序，通过各个工作站之间的通信完成信号互通，在上料工作站中将物料装入瓶中完成装瓶工作，装好瓶后将信号发送到加盖拧紧工作站，可以进行加盖拧紧工作，拧紧完成信号通知智能分拣工作站可以进行分拣工作，分拣完成后合格的物料可以包装，通知机器人工作站，在机器人工作站完成瓶装入包装盒、盖包装盒盖、贴标签工序，标签贴完后推到物料台以备仓储，通知智能仓储工作站进行智能码垛完成最终仓储工作。通过工作站之间互联完成互联互通，整个系统完成全自动运行。

4 结语

本系统采用可编程逻辑控制器与工业机器人相结合的方式，完成工作站之间的通信，利用 PLC 与机器人等外围设备的 I/O 板进行连接，接受各个工作站发送来的信号，执行相应的操作。在 RobotStudio 中通过离线编程完成机器人站的机器人运动轨迹编程实现整体自动生产线的规划。根据 ABB-IRB120 工业机器人在工业制造中的应用设计自动生产智能包装系统的建模，并建立相应的控制系统和 I/O 信号，同时可以通过软件的仿真功能实现现场调试工作。并通过触摸屏实现上位监控功能。

参 考 文 献

[1]叶晖，何智勇，杨薇.工业机器人工程应用虚拟仿真教程[M].北京：机械工业出版社，2014.

[2]叶晖，管小青，杨薇. 工业机器人实操与应用技巧[M].北京：机械工业出版社，2013.

[3]王高，叶文生，柳宁."新工科"背景下机器人行业实践型人才知识构建与培养方法探讨[J].机电工程技术，2018(8)：25-30.

[4]魏相飞，张刚，何锐，等."新工科"背景下皖西学院机器人学院建设探索[J].开封教育学院学报，2018，38(2)：124-125.

[5]田国柱，丁洁.基于 RobotStudio 的多工业机器人制链生产线的仿真设计[J]. 组合机床与自动化加工技术，2018(12)：123-133.

[6]段海峰，韩伟，江丽珍，等. 基于工业机器人的开关柔性组装自动化系统设计[J].制造技术与机床，2020(3)：13-16.

基于 TRIZ 理论与结构类比源分析的产品结构设计创新*

于婷婷　赵德宏　杨谢柳

（沈阳建筑大学机械工程学院，辽宁 沈阳 110168）

摘　要：提出了一种基于 TRIZ 理论与类比源分析的结构设计创新方法。在对 TRIZ 发明问题解决理论和类比设计（analogy-based design，ABD）分析的基础上，提出运用 TRIZ 理论的发明原理提取发明过程中的标准目标和技术矛盾，建立类比源相似度关联矩阵，解析发明问题的求解原理，实现产品设计创新的过程模型。运用此法创新的单驱动可分度锯切部件，实现单伺服控制下的连续切削与高精密分度功能，并通过了实际工程验证，获得中国专利金奖，验证了所提设计过程模型的有效性。

关键词：结构设计创新；TRIZ 理论；类比设计；设计方法

中图分类号：TH122　　**文献标识码**：A

DOI：10.19287/j.cnki.1005-2402.2021.11.013

The structure design and innovation of product based on TRIZ theory and structure source of analogy

YU Tingting, ZHAO Dehong, YANG Xieliu

(School of Mechanical Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, CHN)

Abstract: The manufacturing industry has entered a critical period of innovation-driven transformation development. The paper invents an innovation method about structural design based on TRIZ theory and analogical source analysis. A process model for product design innovation is established, which based on the analysis about TRIZ and ABD, It is proposed to use the invention principle of TRIZ theory to extract the standard objective and technical contradiction in the process of invention, establish the similarity correlation matrix of analog source, and analyze the solution principle of the invention problem. The invention of the single-drive indexable sawing parts verifies the effectiveness of the model, which realized continuous cutting and high precision dividing function under single servo control, and passed the practical engineering verification, and won the Gold Medal of Chinese Patent.

Keywords: innovation of structure design; TRIZ; analogy design; design method

结构设计是产品开发的首要环节，是产品的功能、质量、成本、市场竞争力等各方面的关键影响因素。装

[7] 牛腾飞，姚宝国.工业机器人切削加工工作站设计与任务仿真[J].制造技术与机床，2019(10)：44-48.

[8] 王功亮，王好臣，李振雨，等.基于 RobotStudio 的工业机器人输送链跟踪仿真[J].机械设计与制造，2019(11)：231-234.

[9] 刘海燕，苏宇，林春兰，等.基于 RobotStudio 的生产线下料系统设计与仿真[J].制造技术与机床，2019(5)：67-71.

[10] Christian Moeller H C S, Philip Koch, Christian Boehlmann, et al. Real time pose control of an industrial robotic system for machining of. large scale components in aerospace industry using laser tracker system[J]. SAE International Journal of Aerospace, 2017, 126 (67): 100-108.

[11] Alberto Brunete E G, Jukka Koskinen. Tapio Heikkil, et al. Hard material small-batch industrial machining robot[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2018, 54(3): 185-199.

[12] Veliek K. Holubek R, Delgado Sobrino D R, et al. Design of a robotized workstation making use of the integration of CAD models and robotic simulation software as way of pairing and comparing real and virtual environments[J]. MATEC Web of Conferences, 2017, 94(7): 5-8.

第一作者：孟静静，女，1983 年生，工学硕士，讲师，主要研究方向为机电一体化和智能控制。

（编辑　谭弘颖）

（收稿日期：2021-08-30）

文章编号：20211114

如果您想发表对本文的看法，请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

* 国家自然科学基金委项目（51705341）；辽宁省教育厅项目（LJZ2017025）