

基于交叠区域划定的智能制造系统联防保护

杨李振中

(广西机电职业技术学院, 广西 南宁 530007)

摘要: 智能制造系统的加工设备在未安装物体检测传感器的情况下, 如何判断机器人已经到其附近, 防止加工设备主动碰撞的问题往往难以解决。本文就如何防止加工设备碰撞搬运机器人的问题, 介绍了基于交叠区域划定的智能制造系统联防保护的方法, 并基于该方法设计了对应的联防保护系统, 针对该系统进行了合理性实验。实验表明, 在功能支持且设计合理的前提下, 利用该方法设计的防护系统能有效地解决加工设备主动碰撞搬运机器人的问题。

关键词: 智能制造; 安全保护; 区域划定

中图分类号: TP309

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.26.020

智能制造作为 21 世纪制造业发展的一大趋势^[1], 为了避免偶发的设备故障对操作人员和其他设备造成损坏, 智能制造系统通常在系统设计的环节里, 都会加入安全保护措施^[2]。一方面保护操作人员的人身安全; 另一方面在出现故障时及时暂停系统, 以免扩大故障范围。

1 智能制造系统的保护

目前智能制造系统的保护, 主要分为人员防护和设备防护两种。常见的人员防护的主要措施为建立物理的安全护栏^[3], 利用安全护栏主要出入口传感器的信号检测来实现保护。而设备防护主要用于避免不同设备工作之中的相互干扰, 特别是避免设备间的碰撞。

2 基于交叠区域划定的保护技术的思想

经过大量实践分析发现, 智能制造系统的一部分故障主要来自搬运机器人与加工设备之间的碰撞。为了避免机器人主动碰撞加工设备, 在机器人进入加工设备前可检测加工设备是否正在运行; 若加工设备正在运行, 及时禁止机器人进入加工设备的代码启动或禁止机器人进入加工设备所在的区域^[4]。而避免加工设备主动碰撞机器人则较为困难, 通常采用受力碰撞检测、加工设备加装额外的物体传感器来实现, 但前者往往反应较慢, 而后者又通常成本较高。本文基于交叠区域划定的思想, 利用将机器人位姿信息传递给加工设备的方法, 对智能制造系统的加工设备主动碰撞机器人的联防保护部分进行了分析与程序设计。

由于加工设备通常加工只在内部进行, 运动范围不会超出设备所占区域, 所以, 机器人碰撞加工设备的事故只会发生在加工设备的表面和内部, 而加工设备碰撞机器人的事故仅发生

在加工设备的内部。因此, 加工设备的内边界涵盖整个可能发生碰撞区域(简称交叠区域)。

如果监测机器人的实时位姿状态信息, 当机器人进入这个区域时禁止机床启动, 则可避免加工设备运动碰撞机器人。为了更好地编写保护程序, 需再设计一个建立在机器人世界坐标系的坐标区域(简称设计坐标), 使得机器人的法兰盘中心进入该区域后(即机器人的位置坐标在该区域内), 可以判断其已进入交叠区域。设计坐标的范围大小, 主要取决于加工设备的轮廓、法兰盘上夹具的最远端离法兰盘中心的距离(简称夹具长度)、机器人进入加工设备的方向、进入的方式以及机械臂宽等因素。以从下方进入设备上料的单台机器人和单台机床构成的智能制造平面系统为例, 如图 1 所示。交叠区域为图中的朝左下划斜线区域。为简化区域表达复杂度, 可将交叠区域边界增补为一个长方形边界, 宽度为 A, 深度为 B。由于机器人从设备的下方进入, 运动范围不会超过机床的上侧边界。若未知机器人进入姿态, 可将交叠区域进一步扩大, 以夹具长度为作为延伸距离 a, 因此, 可得一个宽度 A+2a、深度 B+a 的方形区域, 即为设计坐标, 如图 1 点划线区域。当加工设备多于一台时, 不同的加工设备可参照该模式, 独立地计算设计坐标。

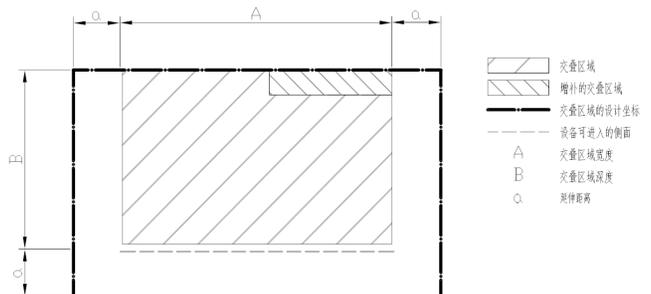


图 1 设计坐标示意图

3 防护系统设计及实验

为了验证联防保护的正确性，本文围绕已投入使用的某智能制造平台进行了联防系统设计和实验。

该智能制造系统平台由主控 PLC、仓库、加工设备（一台加工中心、一台车床）以及搬运机器人各一个组成。该平台主要由加工中心和车床负责进行工件的加工，由搬运机器人负责仓库和加工设备之间的物料及成品搬运，主控 PLC 负责加工设备的启动以及系统各部件实时状态的监控和整体系统的协调调度。车床和加工中心各有一扇安全门，朝垂直机器人轨道方向打开。机器人六轴式工业机器人，机器人内置有独立的伺服电机传感器，内置对地静止直角坐标系，可实时且独立地计算法兰盘直角坐标系位姿，并通过 Modbus/TCP 协议传输到主控 PLC，用于机器人安全状态的监控，抽样时间为 2000ms。其基座可在导轨上平行移动，该导轨平行于车床门和加工中心门，机器人停靠在导轨最右侧时，其底座与中心轴的交点为机器人的世界坐标原点。机器人的所有机械臂中，最宽半径为 320mm，法兰盘所在机械臂最宽处半径约为 90mm。夹具最远处到法兰盘的距离为 370mm。机器人在轨道上移动的轨迹直线为直角坐标 X 轴。轨迹线与加工中心和车床最下侧边沿平行，二者最近处相距 850mm。

系统运行原理图如图 2 所示。为了实现保护，本文在原有系统的系统运行原理图中插入了联防保护的程序（图 2 中深色框浅色字的模块）。该联防程序分为三部分，分别为车床主动碰撞防护程序、加工中心主动碰撞防护程序和机器人主动碰撞防护程序。机器人主动碰撞防护程序插入“机器人前往数控车床（或加工中心）上料”和“机器人前往数控车床（或加工中心）下料”程序前部，用于避免搬运机器人主动碰撞加工设备，即加工设备正在运行时禁止机器人进入设备上料。车床（或加工中心）主动碰撞防护程序插入“车床（或加工中心）启动”程序前部，用于避免车床（或加工中心）主动碰撞搬运机器人，即机器人处于交叠区域时禁止机床运行。

在设计程序前，首先要划定机器人的交叠区域，其次要计算设计坐标。交叠区域的设计坐标，以搬运机器人的世界坐标系直角坐标确定。由于机器人的地面移动轨道与加工中心和车床相距都较近，且机器人上下料时夹具指向地面，由法兰盘所在机械臂最先进入加工设备，因此延伸距离 a 不直接参照夹具最远处到法兰盘的距离进行选择，否则延伸距离过大，容易引起联防保护误动作。但是，延伸距离应大于法兰盘所在机械臂的最宽处半径。出于安全裕量和夹具宽度扩展需要的考虑，最终选择法兰盘所在机械臂最宽处半径 90mm 的 3.7 倍，即 333mm 作为延伸距离 a。因此从 Y 轴方向上看，X 轴到设计坐标的距离等于轨迹线到车床与加工中心最近处的距离减去延伸距离 a，等于 510mm。设备经过测量，车床门宽度为 800mm，加工中心门宽度为 890mm，设备可进入窗口左右两侧与设备左右两侧的距离均大于夹具最远处到法兰盘距离，因此设计坐标 X 方向上的宽度应适当缩小，最小可与交叠区域宽度相同。但为了易于程序设计，设计坐标设为互不重叠且互相贴合。最终测量确定合适的 X 轴坐标后，车床的交叠区域的设计坐标范围定为；加工中心交叠区域的设计坐标范围定为。设计坐标确定后，对程序进行了编写。程序代码的如图 3 所示。

联防程序编写好后，程序移植入系统。系统在调用机器人前往数控车床上料模块（或下料模块）前，将具体的阶段任务数据信息存储于车床上料模块内对应的数据区内，然后接通机器人主动碰撞防护程序（图 3c）的“机器人车床上料控制”触点。只有车床不在加工运行，才由车床上料模块（图 3c “车床上料_DB” 下方的模块）将具体的加工信息和执行命令发送给机器人，完成对应的上料或者下料操作。系统在机器人前往加工中心上下料前情况类似。此外，系统在任一时刻调用车床启动模块前，将先接通车床主动碰撞防护程序（图 3a）内的“车床启动控制”触点。只有机器人不处于车床区域（即车床的设计坐标区域内），车床启动模块（图 3a “车床启动

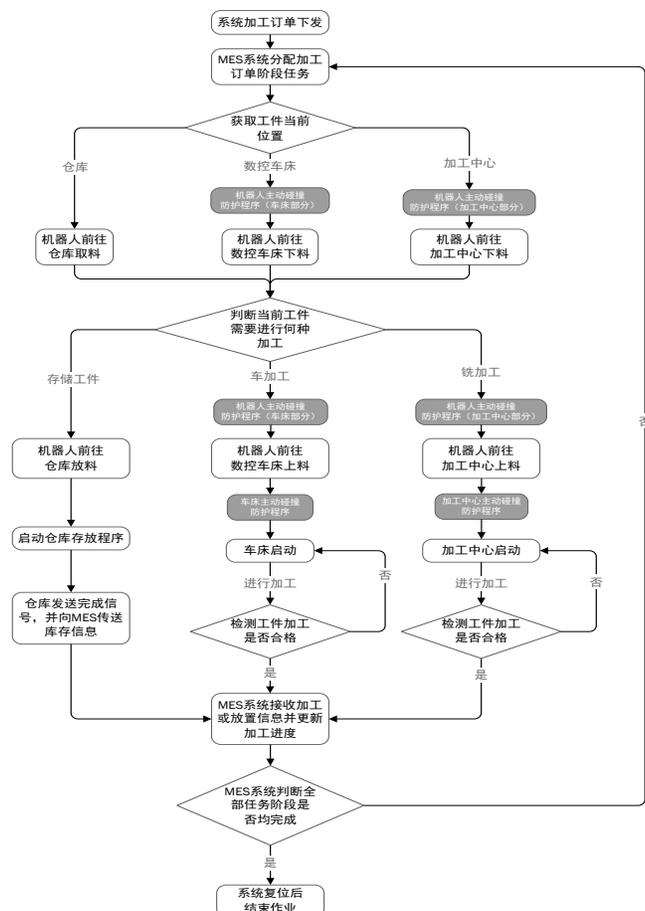


图 2 系统运行原理图

_DB”下方的模块)才会启动数控车床,由数控车床完成MES下发的数控加工程序加工。调用加工中心启动模块前的加工中心主动碰撞防护程序如图3b,其在系统发挥的功能与此类似。

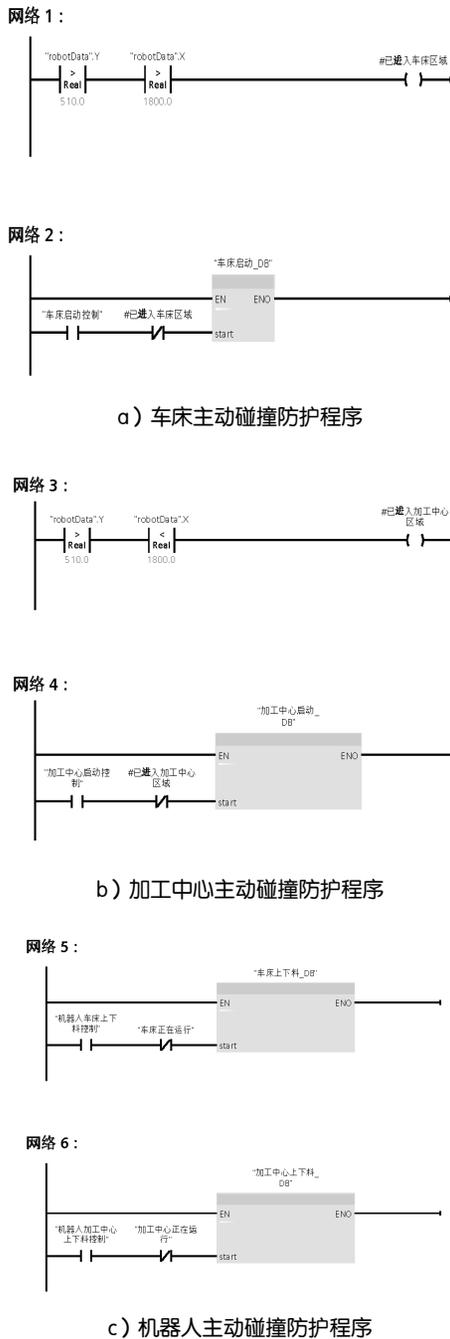


图3 联防程序梯形图

“robotData”.X——机器人 X 轴当前坐标;“robotData”.Y——机器人 Y 轴当前坐标。

EN——模块使能; start——模块程序启动; ENO——使能输出。

程序设计好后,文章对程序进行了测试。因受实验条件所

限,在结合具体搬运和作业轨迹后,程序利用 Aux1 轴和 A1 轴的设计坐标代替 X 轴和 Y 轴的坐标,并对坐标数据进行了一定的调整。调整后,下载入设备的系统进行实验。在实验过程中,系统正常运行时,工作状态与原始系统相同。系统处于非正常状态时,机器人进入交叠区域,尝试启动机床,机床执行相应检测代码,系统判断当前机器人已进入加工设备,启动保护,加工程序未启动;机器人离开区域后,加工设备顺利启动。机床非正常启动时,尝试执行机器人进入该机床的代码,因检测到加工设备已在运行,判断设备无法进入,机器人未执行进入对应设备的相关程序代码。如此,实验结果符合联防要求,设计达到指定的防护目的。

4 结语

避免加工设备主动碰撞搬运机器人的联防保护,实现起来较为复杂,而引入交叠区域的划定的防护方法不需要加工设备安装物体监测传感器,设计较为方便、简单。实验表明,若设备尺寸测量、交叠区域划定均无误,并且防护系统能够采集机器人实时的位姿信息并运行正常,联防保护就可以有效避免加工设备的主动碰撞。防护碰撞的程序响应时间主要取决于机器人位姿坐标在内部总线传回控制设备的速率。经测试,通过 Modbus/Tep 协议传输位姿信息的程序防护响应时间可以控制在秒级范围。由于通常设备的实际摆放较为密集,交叠区域的划定直接使用夹具最远处距离法兰盘的长度进行计算,通常会导致交叠区域设计坐标划定过大,不利于安全防护程序的设计。因此,应参照设备的实际摆放情况以及机器人的具体运行轨迹,来划定设计坐标,将会更准确、高效。

参考文献:

- [1] 姚振玖. 国内外智能制造发展现状研究与思考 [J]. 中国国情国力, 2022, (06): 49-52.
- [2] 周峰, 邵枝华, 陈淦萍. 智能制造系统安全风险 [J]. 电子科学技术, 2017, 04 (02): 45-51.
- [3] 万燕英, 伍祁林. 工业机器人安全防护技术综述 [J]. 机电工程技术, 2021, 50 (09): 121-123, 173.
- [4] 王丹, 叶桦. 关节型机器人虚拟安全空间研究 [J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2008, 38 (S2): 68-71.

作者简介: 杨李振中 (1991-), 男, 广西南宁人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事机电一体化与人工智能研究。