

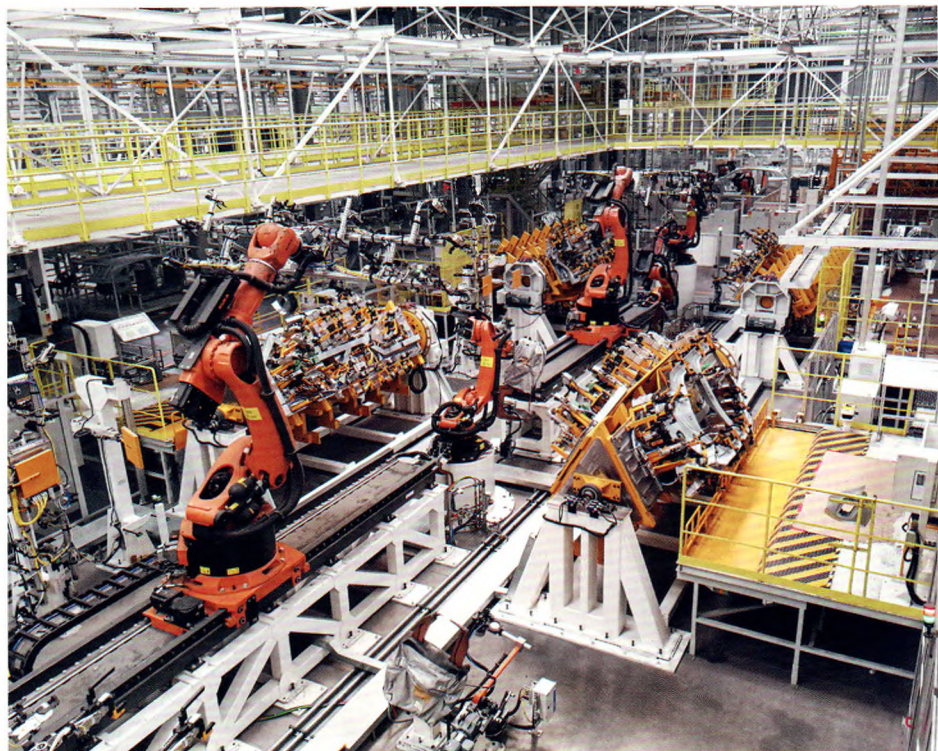
基于RobotStudio的机器人干涉区设定方法及工程应用

□ 中国汽车工业工程有限公司 / 高建超 高海东

以工业机器人为主的柔性生产单元在汽车生产制造中占有重要的地位。基于离线仿真软件的干涉区设定技术的开发研究，成为提高调试效率、降低运行风险的主要解决方案之一。

以工业机器人为主的柔性生产单元在汽车生产制造中占有重要的地位，目前较为常见的柔性生产单元有点焊、弧焊、搬运、喷涂、涂胶和滚边等工作站。在机器人的调试过程中，“在线示教”依然是主流的调试手段。

所谓“在线示教编程”，就是调试人员在调试现场通过示教器将机器人移动到期望位置并记忆，所有位置记忆完成后可通过再现方式运行程序以验证调试位置是否与期望相同。然而此种调试方法存在以下缺陷——（1）受外部条件限制，包括水、电、气及其他工艺设备等；（2）调试进度紧张；（3）调试轨迹冗余，浪费节拍；（4）依赖调试人员经验；（5）调试工作强度大；（6）碰撞风险大，碰撞造成的损失不可忽略；（7）工



况复杂，后期运行隐患大。弥补在线编程缺陷有两种方法：首先，采用离线编程方式得到完整程序，导入在线控制器后微调验证。其次，开发第二代机器人，对工作对象、外部环境具有一定感知能力，并对感知的信息进行处理运行并做出相应动作。离线编程技术取代在线编程技术，成为主要机器人任务，规划技术已经成为必然的趋势。

机器人干涉区离线设定技术是离线编程实用化的关键技术之

一。涉及多机器人协同作业的工作站往往具有繁杂的干涉区，而此类干涉区的设定依赖机器人调试人员的经验，通过反复测试，循环运行机器人行走轨迹的方法来设定，调试周期长，无法设定全面可靠的干涉区，后期风险较大。基于离线仿真软件的干涉区设定技术的开发研究，成为提高调试效率、降低运行风险的主要解决方案之一。

RobotStudio是ABB公司开发的PC应用程序，对机器人单元进行

建模、离线编程、仿真，操作界面友好、使用简单、自带ABB机器人虚拟控制器及数字模型等，优点显著。

本文提出的基于RobotStudio的机器人离线干涉区设定方法，是将同一工作站的机器人在线调试轨迹或离线仿真轨迹导入RobotStudio软件，在RobotStudio中建立虚拟控制器系统，通过RobotStudio内部控制系统组建工作站仿真系统，按照工艺流程设定仿真顺序，通过反复验证的方法在各个机器人程序中建立干涉区，修改保存机器人程序，将修改完成的程序导入到实际机器人控制系统中进行应用测试。该方法已经在多个项目的实际调试中得到验证，其准确性、实用性及调试速度远高于在线设定的方法。

在线干涉区设定方法

机器人系统是个复杂的运动系统，描述机器人运动需要定义驱动坐标系统、关节坐标空间和工作坐标系统。通过这些坐标系统的创建，使用户在应用过程中根据实际需要定义不同的运动模式和工作状态。在多机器人共存的工作站中，往往涉及到以下三种干涉状态——

(1) 机器人与外围设备（定位设备、安全防护设备以及机器人辅助设备）之间的干涉；(2) 机器人与生产产品之间的干涉；(3) 机器人与机器人之间的干涉。为避免以上三种干涉，各大机器人厂家通过不同的方法设定干涉区，主要思路是定义某个区间为干涉区。当机器人处于干涉区内的时候，向外界传递特定信号并加以标识，外界系统会将该信息传递给与该机器人

干涉的设备，采取防止碰撞干涉的措施。

目前各大机器人厂家采用的空间定位方式有三种：几何体空间定位、轴空间定位和轨迹空间定位。

1. 几何体空间定位

在机器人世界坐标系中建立几何体监视空间，当机器人TCP进入几何体空间时，机器人自动向外部设备发送信号，几何体的空间位置、定义方式因机器人品牌而异。

以ABB机器人为例，立方体监视空间定义函数为：

```
WZBoxDef
[Inside] | [Outside]
[Shape ':=']
[LowPoint ':=']
[HighPoint ':=']
```

其中[Inside] | [Outside]参数的作用是设定有效监控空间为立方体内外，当选择内侧时，机器人TCP位于立方体内部时，向外部发送信号。当选择外侧时，同理；[Shape ':=']参数的作用是定义立方体的形状，该数据为系统数据，无法更改；[LowPoint ':=']和[HighPoint ':=']参数的作用分别是定位立方体的角点1和角点2的坐标，如图1所示。

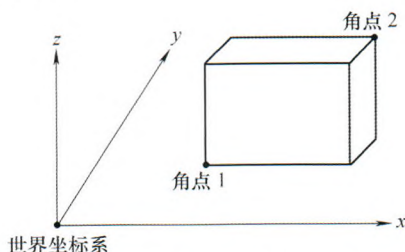


图1 立方体监视空间

圆柱体监视空间定义函数为：

```
WZCylDef
[Inside] | [Outside]
[Shape ':=']
```

```
[CenterPoint ':=']
[Radius ':=']
[Height ':=']
```

其中[Inside] | [Outside]和[Shape ':=']参数定义与立方体定义函数相同，[CenterPoint ':=']参数表示被定义圆柱体的中心坐标，[Radius ':=']参数表示被定义圆柱体的半径，[Height ':=']参数表示被定义圆柱体的高度，如图2所示。

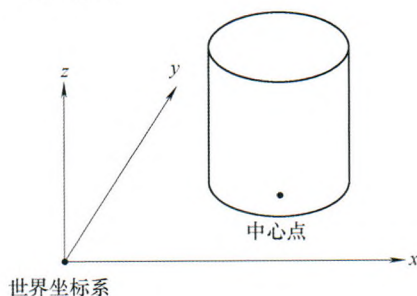


图2 圆柱体监视空间

2. 轴空间定位

通过限制机器人某个轴运行角度，达到定义以该轴为中心的轴空间监视范围的目的，当机器人运行至该轴空间监视范围的时候，机器人向外界发出相应信号，用来达到防止碰撞的目的，该方法多用于机器人的第1轴（基座旋转轴）和外部轴（直线型和翻转型）。

3. 轨迹空间定位

在机器人轨迹中通过设置干涉区信号的方法标识干涉区范围，当机器人运行至该范围时向外界发出信号。在实际应用中，这种方法应用最广泛，同时最复杂。

如图3所示，P1和P5点位于干涉区外部，P2、P3和P4点位于干涉区内，即当机器人运行至P1点后机器人进入干涉区，机器人运行至P4点后机器人离开干涉区。

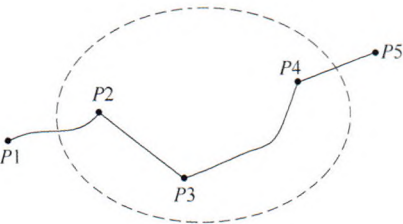


图3 轨迹监视空间

4. 机器人防碰撞的实现

在机器人之间设定干涉区后，外部控制系统会根据接收到的干涉区信息调整干涉区状态，并将该状态分发给相关机器人，从而实现机器人的防碰撞功能。

假设外部控制系统为可编程控制器（PLC），以两机器人系统为例，机器人R1与R2存在干涉区A。当机器人R1进入A区域时，开始执行Enter_Collision_Zone_1函数：

```
PROC Enter_Collision_Zone_1()
  DIWait I_10_1,1,3," Waiting" ,"
ZoneA Empty" ;! i
  Reset O_10_1;! ii
  DIWait I_10_1,1,3," Waiting" ,"
ZoneA Empty" ;! iii
ENDPROC
```

其中，I_10_1为PLC向机器人的输出信号，当A区域为空区域时，该信号为“1”；当A区域有机器人正在作业时。该信号为“0”。第 i 行语句为R1在确认R2是否在A区域作业，如果R2不在干涉区内作业，执行第 ii 行，将O_10_1设置为“0”，输出给PLC，PLC收到该信号时判断R1机器人已经进入干涉区，将其向R2机器人的输出信号I_10_2设置为“0”，即告知R2机器人，R1机器人已经在干涉区内作业，在R2在进入A区域时，执行Enter_Collision_Zone_2函数：

```
PROC Enter_Collision_Zone_2()
  DIWait I_10_2,1,3,"
Waiting" ," ZoneA Empty" ;! i
  Reset O_10_2;! ii
  DIWait I_10_2,1,3," Waiting" ,"
ZoneA Empty" ;! iii
ENDPROC
```

在第 i 行语句检测A区域是否有机器人在作业时，得知R1正在干涉区内作业，进入等待状态。

机器人R1在退出干涉区时，会执行Exit_Collision_Zone_1函数：

```
PROC Exit_Collision_Zone_1()
  Set O_10_1;
ENDPROC
```

即将O_10_1设置为“1”，并将其输出给PLC，PLC收到信号后将其向机器人R2的输出信号I_10_2设置为“1”，即告知R2机器人，R1机器人已经离开干涉区。R2机器人得知该信息后，结束等待状态，进入干涉区，并将O_10_2设置为“0”，告知PLC其已经进入干涉区作业，以此类推该流程。通过该流程实现了机器人之间的防碰撞功能。

在实际应用中，往往出现一个机器人工作站具有多台机器人同时作业的情况，在作业过程中会出现多个干涉区（见图4），该工作站中共有4台机器人R1、R2、R3、R4，共有干涉区A、B、C、D，由于工艺复杂，四台机器人均会多次出入干涉区，如果采用在线设定干涉区的方案，则需要多人配合，在可能发生碰撞的位置保持一台机器人不动，其余机器人手动运行测试验证碰撞情况，工况十分复杂。需要调试人员具有相当丰富的经验，才可以验证所有需要设定的干涉区域。然而实际应用中，调试人员经验差异较大，工艺要求复杂多样、调试

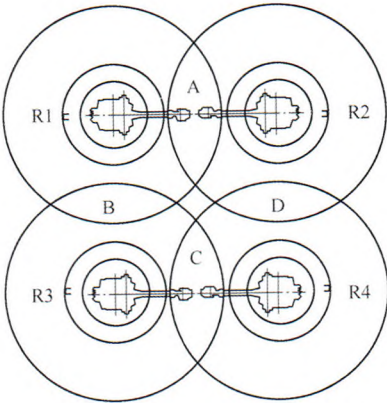


图4 典型机器人工作站

时间紧张、自动运行状态下工况复杂。这些因素都使得在线设定干涉区的方法效率低下、碰撞风险大、对调试人员的调试水平依赖高等缺点。尽管缺点很多，目前绝大多数调试人员还是在使用该方法设定干涉区，因此基于仿真软件进行离线干涉区设定的研究显得尤为重要。

离线干涉区设定方法及工程应用

1.RobotStudio

RobotStudio软件是ABB开发的仿真与离线编程软件，在PC中建立了一个与实际控制器系统完全相同的虚拟控制器，该虚拟控制器使用与实际控制器完全相同的配置和程序，以保证仿真结果与实际输出的高度吻合。通过该软件在PC上即可完成仿真和离线编程，无需停止正常生产，仅在生产间隙时将离线程序导入实际控制器即可完成生产线的升级、改造和调整工作。RobotStudio软件的应用具备降低调试风险、提高集成调试效率、缩短升级改造周期等优点。

RobotStudio包含构建工作站、机器人编程、部署与分发、仿真、在线操作等多个功能模块。通过这

些模块可以实现建模、系统创建、系统配置、流程仿真和制作离线程序整个流程。其中仿真模块具备自动运行仿真、碰撞检测、事件处理、I/O仿真、仿真监控、节拍测量等功能。

2. 离线干涉区设定方法

离线干涉区设定方法是根据工艺平面图确定各设备位置，在RobotStudio中建立机器人工作站模型，通过机器人实际控制器备份虚拟机器人控制器，在“工作站逻辑”模块中建立工作站控制系统（即虚拟PLC），将示教或仿真完成程序导入虚拟PLC，创建所有可能发生碰撞的“传感器”，运行仿真，当碰撞“传感器”检测到碰撞时会自动停止工作站的运行，根据结果设置干涉区，最后将设定完毕的系统备份导入实际控制器中，在线进行验证，即可完成干涉区设定作业。

3. 离线干涉区设定方法的工程应用实例

该方法已在多个项目中开展实际应用，这些应用证明该方法具有较高的实用和推广价值，以下是其中一个项目的实际应用案例。该工作站为下车身焊接工作站，有4台ABB机器人，根据工艺规划存在至少4个干涉区，在焊接路径规划时机器人会多次进出干涉区，同时会出现交叉干涉区的情况，运转工况较为复杂，干涉区的精确设定是保证工作站稳定运行的关键工序。

(1) 建立离线工作站。该工作站的工艺平面图如图5所示，根据该工艺平面图建立的工作站模型（见图6），RobotStudio的构建工作站模块支持机器人模型、工

具、变位机、直线导轨以及其他设备的导入，这些导入既可以使用RobotStudio库中的模型，也可以从外部创建模型转换为RobotStudio支持的文件格式模型，导入模型后可根据工艺平面图的位置数据设定设备的位置，继而构建工作站完

成。该案例仅演示机器人之间干涉区的设定，图中隐藏了车型产品和其他工艺设备信息。工作站模型建立完成后将实际控制器系统导入虚拟控制器系统，从而完成实际控制器到虚拟控制器的映射，如图7所示。

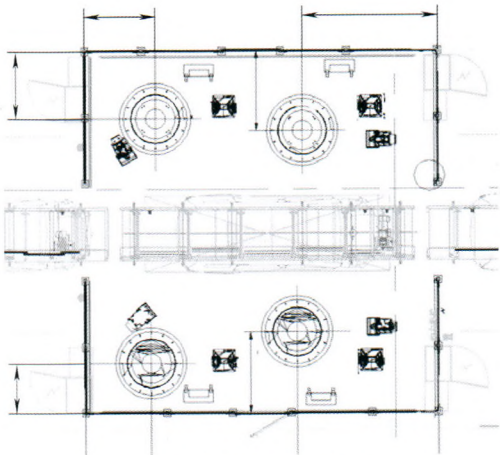


图5 工作站工艺平面图

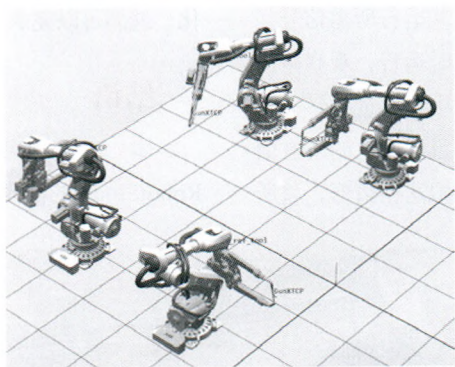


图6 工作站模型

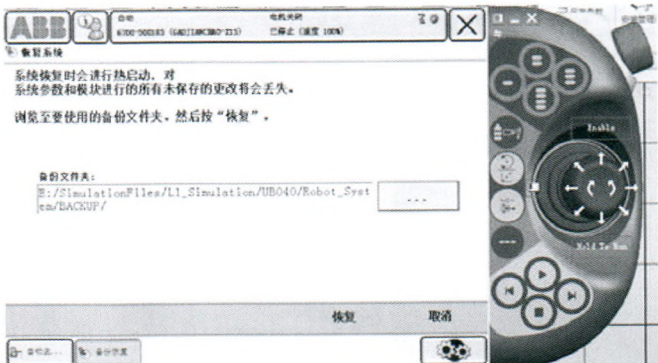


图7 虚拟控制器系统映射

(2) 建立工作站控制系统。在RobotStudio的“工作站逻辑”模块中建立“虚拟PLC”，并将“虚拟PLC”与四个机器人进行信号映射、逻辑设计，实现“虚拟PLC”与机器人之间的通信控制，以达到仿真目的。

在完成工作站控制系统的搭建后，为所有可能发生碰撞的机器人之间设置碰撞检测“传感器”，本案例设置了四个碰撞传感器。两台机器人发生了碰撞，系统报警并停止工作，软件信息通知区域显示此时系统处于碰撞状态并输出碰撞点的位置，此时可在虚拟控制器中修改程序，将该点设置进干涉区内部。

(3) 设定离线干涉区。运行虚拟系统，根据机器人程序流程向机器人系统输入其运行所需信号，使四台机器人同时运行，观察碰撞情况。在此过程中可通过枚举方法预测实际生产中可能发生的所有情形，通过仿真模拟这些情形，将所

有可能的干涉区暴露出来，通过虚拟控制器修改程序，从而达到设定离线干涉区的目的。

(4) 导入在线机器人系统。RobotStudio具备在线操作模块，将装有该软件的计算机与实际机器人控制器进行物理连接，其所支持的物理连接有两种，一种是直接连接到机器人控制器服务端口；另一种是连接到工厂网络接口，通过网络接口连接到机器人控制器。完成物理连接后，向机器人控制器申请写入权限通过后即可将修改后的系统程序导入机器人控制器，进行在线验证运行。

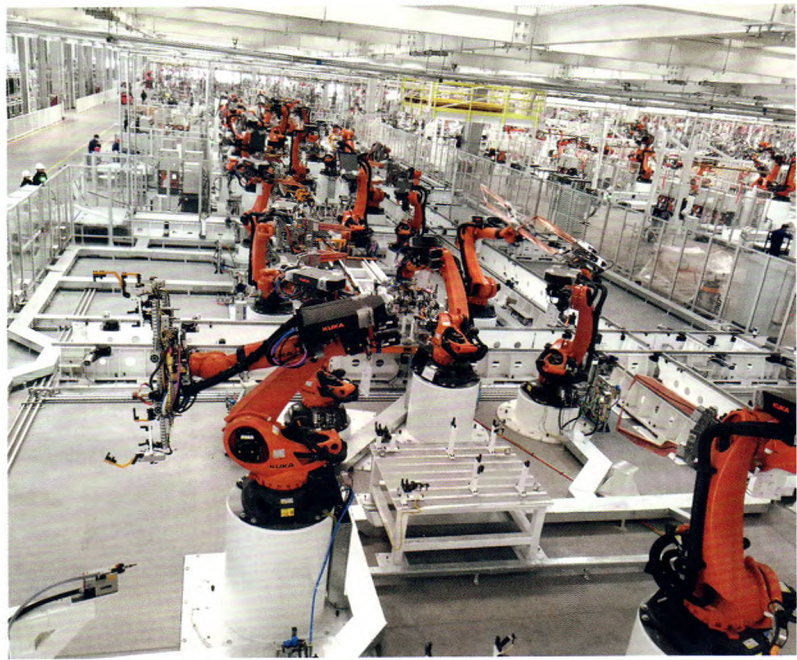
在线验证运行可先后进行手动验证、低速自动验证和高速自动验证三个阶段，通过三个阶段的验证对离线设置的干涉区进行进一步优化，继而可以完成干涉区的设置。

结语

本文提出了一种基于RobotStudio的机器人离线干涉区设

定方法。目前，通过该方法已经完成了8个机器人工作站、22台机器人的调试应用，应用结果表明该方法具有较强的实用性和较高的推广价值。

本文以ABB公司的RobotStudio和IRC5系统为例进行介绍应用，各大机器人厂家分别推出了类似功能的仿真软件，像FANUC的RoboGuide，同时也有一些专业仿真软件也可实现类似功能，像西门子的ProcessSimulate，推而广之，针对不同的机器人系统采用不同的仿真软件进行干涉区设定，通过该方法的使用，使其具有节省调试周期，降低碰撞风险及其带来的损失，降低对调试人员经验水平的依赖等优点。 **AUTO1950**



高建超

硕士，工程师，毕业于东北大学，机械设计及理论专业，从事汽车白车身焊接生产线机器人规划、集成、调试工作。研究方向为工业机器人面向点焊、弧焊、滚边、视觉引导、激光焊等应用的集成调试关键技术，机器人离线编程及工程应用。