

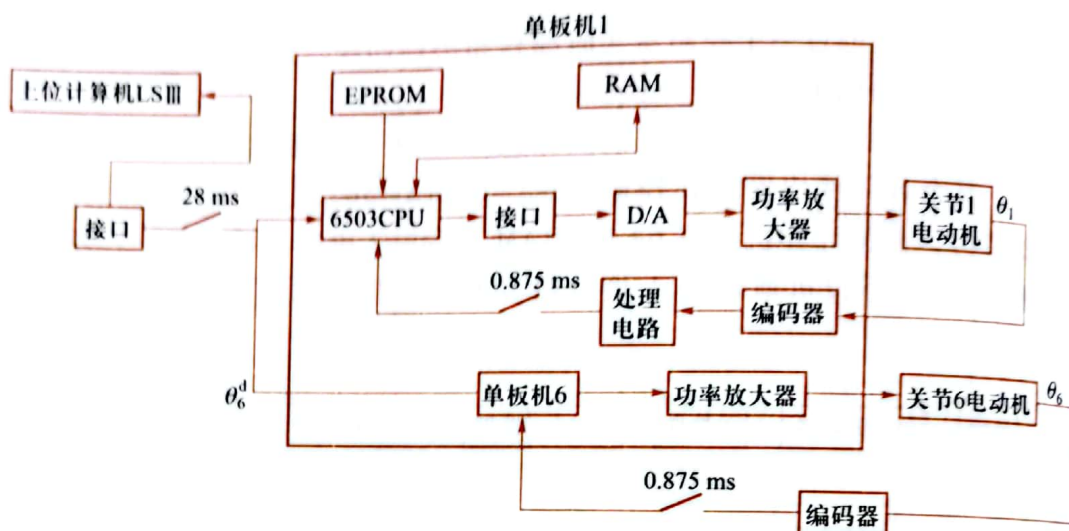


图 7-8 PUMA-562 下位机控制系统框图

7.5 工业机器人的控制方式

工业机器人的控制方式主要有运动控制、力（力矩）控制和智能控制。

7.5.1 运动控制



微课

工业机器人的运动
控制功能



对于工业机器人的运动控制，尤其在刚性机械臂的运动控制问题中，主要的挑战在于动力学和不确定性带来的复杂性。

工业机器人的运动控制系统相当于人的大脑。它指挥机器人的动作，并协调机器人与生产系统之间的关系。机器人的工作顺序、应达到的位置、动作时间间隔、运动速度等都是在控制系统指挥下，通过每一运动部件沿（或绕）各坐标轴的动作来实现的。工业机器人为了完成各种作业、实现各种功能，需要对工业机器人的运动控制采用各种合适的运动控制系统。

1. 点位控制和连续轨迹控制

根据作业任务的不同，工业机器人的运动控制方式可分为点位控制和连续轨迹控制，如图 7-9 所示。

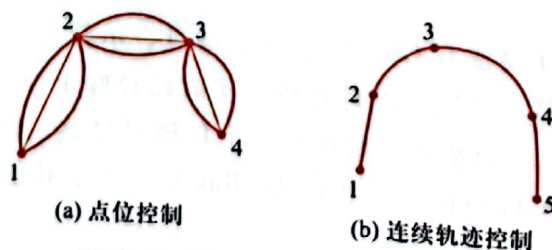


图 7-9 点位控制与连续轨迹控制

(1) 点位控制

点位控制（PTP）又称点对点控制。该控制方式在关节空间里指定一个固定的



扫描全能王 创建

参数设置,目标是使关节的变量能保持在期望的位置,不受转矩扰动的影响。这种控制方式的特点是只控制工业机器人末端执行器在作业空间中某些规定的离散点上的位姿,即只关心机器人末端执行器的起点和终点位置,而不关心这两点之间的运动轨迹。因此在使用手把手示教编程实现 PTP 控制时,它只记录轨迹程序移动的两端点位置。这种控制方式的主要技术指标是定位精度和运动所需的时间。由于其控制方式易于实现,定位精度要求不高的特点,因而遇到只需要机械臂从一个位置移动到另一个位置,对这两点间运动过程的精度没有特别高的要求的控制任务可以由点位控制完成。该控制方式常被应用在无障碍条件下的上下料、搬运、点焊和在电路上安插元件等只要求目标点处保持末端执行器位姿准确的作业中。

PTP 运动控制系统结构包括 5 部分:最终机械执行机构、机械传动机构、动力部件、控制器、位置测量器。其中,机械执行机构有焊接机器人的机械手、数控加工机床的工作台等;机械传动机构包括各种类型的减速器、丝杠螺母副;动力部件包括各种交直流电动机、步进电动机、压电陶瓷、磁滞伸缩材料;控制器一般采用全数字控制式交直流伺服系统。

点位控制技术运用的领域之一是点焊机器人,主要是完成对于钢板类众多焊点的自动焊接,由于焊点直径较小且数量众多,对于点位移动的精度有了非常高的要求。图 7-10 所示的汽车车身的自动装配车间现在普遍推广点焊机器人。点焊机器人中采用的点位控制技术集成了工业机器人控制技术、机器人动力学及仿真、机器人构建有限元分析模块化程序设计、智能测量、建模加工一体化、工厂自动化以及精细物流等先进制造技术等综合性技术,是人工的最好替代方式。

点位控制技术运用的另外一个领域是点胶技术,是将理想大小的微量流体比如焊剂、导电环氧树脂或粘连剂等点在工件芯片、电子元器件等的合适位置上以实现元器件之间机械或电气的可靠连接,这对于点位移动的精度有了近乎苛刻的要求。如图 7-11 所示的动化点胶组装系统中运用的精细点位控制技术,能确保点位移动目标准确。



图 7-10 汽车车身自动装配车间

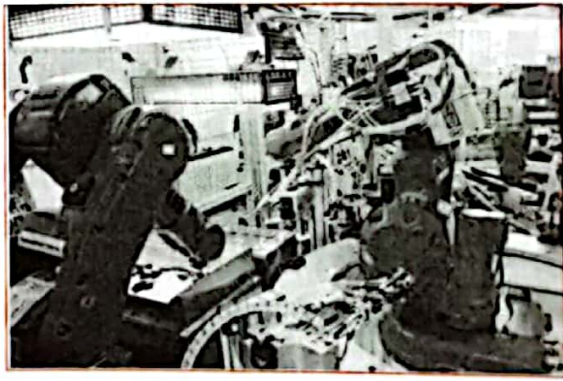


图 7-11 动化点胶组装系统

(2) 连续轨迹控制

控制机器人时经常会遇到一些数据的编辑问题。例如,连接 A、B 两点时要实现图 7-12 所示的轨迹。



工业机器人的运动控制——点位控制



扫描全能王 创建

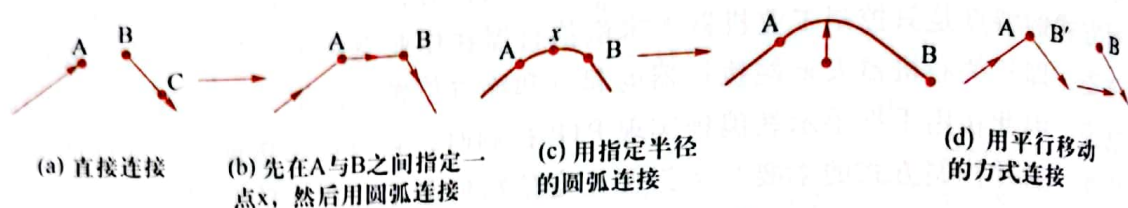


图 7-12 示教数据的编辑机能

PPT课件

工业机器人的运动控制——连续轨迹控制



微课

工业机器人的运动控制——连续轨迹控制



这时就需要用到连续轨迹控制 (CP)。该控制方式不仅要求机器人以一定的精度达到目标点, 而且对移动轨迹也有一定的精度要求, 如机器人喷漆操作。因此, 该控制方式的特点是连续地控制工业机器人末端执行器在作业空间中的位姿, 要求其严格按照预定的轨迹和速度在一定的精度范围内运动, 而且速度可控, 轨迹光滑, 运动平稳, 以完成作业任务。在进行连续轨迹控制时, 与期望的轨迹有关的关节速度和加速度应该分别不超过其机械臂的速度和加速度的极限。这种控制方式的主要技术指标是工业机器人末端操作位姿的轨迹跟踪精度及平稳性。通常弧焊、激光切割、去毛边和检测作业机器人都采用这种控制方式。

实际上, 机器人连续轨迹控制的实现是以点位控制为基础, 通过在相邻两点之间采用满足精度要求的直线或圆弧轨迹插补运算即可实现轨迹的连续化, 如图 7-13 所示。

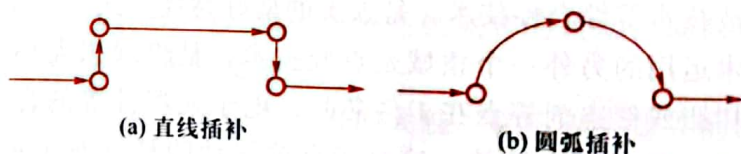


图 7-13 插补方式

直线插补, 机器人从当前示教点到下一个示教点运行一段直线。直线插补常被用于直线焊缝的焊接作业示教。

圆弧插补, 机器人沿着用圆弧插补示教的三个示教点执行圆弧轨迹移动。在焊接机器人中, 圆弧插补常被用于环形焊缝的焊接作业示教。

如图 7-14 所示, 机器人在再现状态时, 从控制柜存储器中逐点取出轨迹示教点位姿态坐标值, 通过对其进行直线或圆弧插补运算, 生成相应路径规划, 然后把各插补点的位姿值通过运动学逆解运算转换成关节坐标值, 分送各个关节, 从计算机 (伺服单元) 负责伺服电动机的臂环控制及实现所有关节的动作协调。它在接受主计为平滑, 然后将各关节下一细步期望值逐点送给驱动电动机, 同时检测光电码盘信号, 直到其准确到位。

2. 关节空间控制和操作空间控制

在运动控制问题中, 机械臂移动到一个位置拿到一个物体, 将其运送到另一个位置并放下它。这样一个任务是任何一个更高级别操作任务 (如喷漆或点焊) 的一部分。



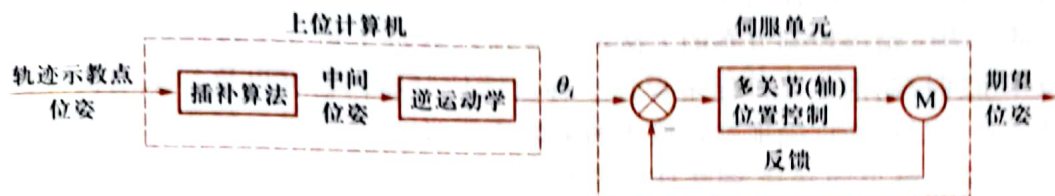


图 7-14 焊接机器人的轨迹插补与位置控制

任务通常是以在任务空间上末端执行器期望的轨迹来指定的，而控制操作是在关节空间进行的，以达到期望的目标。这样自然而然地引出了两种一般的控制方法，即关节空间控制和操作空间控制（任务空间控制）。

（1）关节空间控制

广义的关节空间控制指对机械臂的设置，如图 7-15 所示。

关节空间控制的主要目标是设计一种反馈控制器，它使关节坐标系尽可能精确地跟踪期望运动。为此，考虑关节空间中一个 n 自由度机械臂的控制，控制输入为各关节的转矩。因为控制的输入就是关节的转矩。尽管如此，当使用者以末端执行器的坐标系定义一个运动时，仍有必要了解以下方法。

图 7-16 所示为关节空间控制方法的略图。首先，通过末端执行器坐标系描述的期望运动被转化为对应的关节运动轨迹，这一过程是通过运用机械臂的逆运动学方程实现的。然后，反馈控制器通过测量机械臂当前的关节状态，会确定需要的关节转矩大小，使机械臂沿着关节坐标所定义的期望轨迹移动。

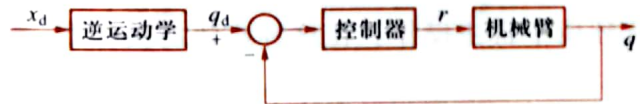


图 7-15 关节空间控制的广义概念

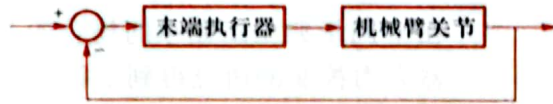


图 7-16

由于通常都会假定期望的任务是按关节运动的时间顺序给出的，所以关节空间控制方案在机械臂任务精确计划过，并且很少或者不需要进行在线轨迹调整的情况下就足够了。典型地，逆运动学被应用于计算一些中间任务点，并且关节的运动轨迹可以进行中间插补。尽管指令轨迹是在末端执行器坐标系插入点之间的直线运动，但最终的关节运动轨迹是由插入点中符合期望的末端执行器运动轨迹的曲线部分组成，例如双臂并联机器人的运动控制。

关节空间控制包括 PD 控制、PID 控制、逆动力学控制、李雅普诺夫控制和被动控制等。

（2）操作空间控制

在更加复杂和确定性较小的环境中，末端执行器的运动会服从在线修正以适应不可预期的情况出现或是对传感器输入进行响应。这类控制问题存在于生产制造过程的各个任务中。尤其是当需要考虑机械臂与工作环境的交互作用时，这类情况都会出现。

由于期望任务通常会在操作空间中定义，并且需要对末端执行器的运动进行精



确控制,所以关节空间控制在上述情况下并不适合。这就产生了直接根据操作空间中表示的动力学给出控制方案的方法。

操作空间控制的主要目标是设计一种反馈控制器,它可以执行末端执行器的运动。该运动会尽可能准确地跟踪期望的末端执行器运动。

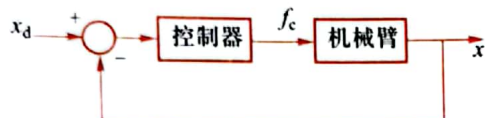


图 7-17 操作空间控制的基本概念

图 7-17 给出了操作空间控制方法的示意图。该方法有不少优点,因为操作空间控制器采用了一个反馈控制闭环,可以直接最大限度地减小任务误差。由于控制算法嵌入了速度级的正运动学式,因此不需要精确的逆运动学计算。这样,点与点之间的运动就可以表示为任务空间的直线线段。

7.5.2 力控制

PPT课件

工业机器人的运动控制——力控制



微课

工业机器人的运动控制——力控制



处理好机器人与周围环境之间的接触是成功完成作业任务的一个基本要求。比如对于执行擦玻璃、转动曲柄、拧螺钉、研磨、打毛刺、装配零件等作业的机器人,其末端执行器与环境之间存在力的作用,且环境中的各种因素不确定,此时仅使用轨迹控制就不能满足要求。执行这些任务时,必须让机器人末端执行器沿着预定的轨迹运动,同时提供必要的力。纯运动控制被证明是难以胜任的,这是因为不可避免的建模误差和不确定性可能引起接触力增大,并最终导致相互作用过程中的不稳定现象,特别是在刚性环境的场合中。机器人系统在弱机构化环境中要实现鲁棒性和通用的行文,并能够像有人现场操作一样安全和可靠,力控制是不可或缺的。在过去 40 年中,因为对机器人系统提供增强的感知能力的需求很大,人们期待具有力、触觉、距离和视觉反馈的机器人,能在不同于典型工业车间场合的非结构化环境中自主操作。在这种广泛的关注下,机器人力控制的研究得到了很大发展。

根据作业任务要求的不同,工业机器人的控制方式需要达到的要求不同,如运动控制、力(力矩)控;再如喷漆、焊接、搬运使用的末端机器人,一般只要求末端执行器(喷枪、焊枪、手爪等)沿着某一预定轨迹运动,运动过程中不与外界接触;对于另一类机器人来说,除了精确定位以外,还要控制手部的作用力与力矩,否则接触力过大或者过小都会引起损伤或者误差。

许多实际的作业需要机器人末端执行器操作一个对象或在某个表面上执行一些操作,如工业生产中的打磨、去毛刺、机加工或装配等。对于这些作业的成功完成,控制机器人与周围环境的物理接触是非常关键的。若在与环境交互的作业中采用运动控制的方法,只有作业被精确规划时才能成功执行。这将需要机器人操作手(运动学)和环境(几何和机械特性)的精确模型。一个具有足够精度的机械手模型可以得到,但得到对环境的详细描述却是非常困难的。此外,规划误差可能引起接触力和力矩的增大,导致末端执行器偏离期望轨迹。另一方面,用控制系统作出反应来减小这种偏离,最终会使接触力逐渐增强直到关节驱动器达到饱和或零件在接触部位发生破裂。如果在交互过程中保证柔顺行为,可以克服这个缺陷。柔顺行为可以被动或主动方式实现。

