

第一章 绪 论

人类进入 21 世纪来,除了致力于自身的发展外,还需要关注机器人、外星人和克隆人等问题。本书不讨论外星人和克隆人问题,而将着重讨论机器人问题。

当今社会的人们,对“机器人”这个名称并不陌生。从古代的神话传说,到现代的科学幻想小说、戏剧、电影和电视,都有许多关于机器人的精彩描绘。尽管机器人学和机器人技术已取得许多重要成果,但现实世界中的绝大多数机器人,既不像神话和文艺作品所描写的那样智勇双全,也没有如某些企业家和宣传家们所宣扬的那样多才多艺。现在,机器人的本领还是比较有限的。不过,它正在迅速发展,并开始对整个工业生产、太空和海洋探索,以及人类生活的各方面产生越来越大的影响。

1.1 机器人学的起源与发展

1.1.1 机器人学的起源

机器人的起源要追溯到 3000 多年前。“机器人”是 20 世纪 20 年代出现的存在于多种语言和文字的新造词,它体现了人类长期以来的一种梦想,即创造出一种像人一样的机器或人造人,以便能够代替人去进行各种工作。

直到 50 多年前,“机器人”才作为专业术语加以引用,然而机器人的概念在人类的想象中却已存在 3000 多年了。早在我国西周时代(公元前 1066 年—前 771 年),就流传有关巧匠偃师献给周穆王一个艺伎(歌舞机器人)的故事。作为第一批自动化动物之一的能够飞翔的木鸟是在公元前 400 年至公元前 350 年间制成的。公元前 3 世纪,古希腊发明家戴达罗斯用青铜为克里特岛国王迈诺斯塑造了一个守卫宝岛的青铜卫士塔罗斯。在公元前 2 世纪出现的书籍中,描写过一个具有类似机器人角色的机械化剧院,这些角色能够在宫廷仪式上进行舞蹈和列队表演。我国东汉时期(公元 25—220 年),张衡发明的指南车是世界上最早的机器人雏形。

进入近代之后,人类关于发明各种机械工具和动力机器,协助以至代替人们从事各种体力劳动梦想更加强烈。18 世纪发明的蒸汽机开辟了利用机器动力代替人力的新纪元。随着动力机器的发明,人类社会出现了第一次工业和科学革命。各种自动机器、动力机和动力系统的问世,使机器人开始由幻想时期转入自动机械时期,许多机械式控制的机器人,主要是各种精巧的机器人玩具和工艺品,应运而生。

瑞士钟表名匠德罗斯父子 3 人于公元 1768—1774 年间,设计制造出 3 个像真人一样大小的机器人——写字偶人、绘图偶人和弹风琴偶人。它们是由凸轮控制和弹簧驱动的自动机器,至今还作为国宝保存在瑞士纳切特尔市艺术和历史博物馆内。同时,还有德国梅林制造的巨型泥塑偶人“巨龙哥雷姆”,日本物理学家细川半藏设计的各种自动机械图形,法国杰夸特设计的机械式可编程序织造机等。1893 年,加拿大摩尔设计的能行走的机器人“安德

罗丁”，是以蒸汽为动力的。这些机器人工艺珍品，标志着人类在机器人从梦想到现实这一漫长道路上，前进了一大步。

20 世纪初期，机器人已躁动于人类社会和经济的母胎之中，人们含有几分不安地期待着它的诞生。他们不知道即将问世的机器人将是个宠儿，还是种怪物。1920 年，捷克剧作家卡雷尔·凯佩克在他的科幻情节剧《罗萨姆的万能机器人》(R. U. R)中，第一次提出了“机器人”这个名词，被当成了机器人一词的起源。在该剧本中，凯佩克把斯洛伐克语“Robota”理解为奴隶或劳役的意思。该剧忧心忡忡地预告了机器人的发展对人类社会产生的悲剧性影响，引起人们的广泛关注。该剧的情节大致如下：罗萨姆公司设计制造的机器人按照其主人的命令默默地、没有感觉和感情、以呆板的方式从事繁重的劳动。后来，该公司研究的机器人技术取得了突破性进展，使机器人具有了智能和感情，导致机器人的广泛应用，在工厂和家务劳动中，机器人成了必不可少的成员。这些智能机器人发觉人类十分自私和不公正，有一天机器人终于起来造反了。机器人的体能和智能都非常优异，它们消灭了人类主人。但是机器人不知道如何制造它们自己，每台机器人的寿命不超过 20 年。它们认识到自己很快就会灭绝，所以它们保留了罗萨姆公司技术部主任的生命，让他传授使机器人世代繁殖的技术。但是，当它们一旦掌握了这项技术后，上当受骗的技术部主任也难逃一死。

卡雷尔提出的是机器人的安全、智能和自繁殖问题。机器人技术的进步很可能引发人类不希望出现的问题和结果。虽然科幻世界只是一种想象，但人类担心社会将可能出现这种现实。

各国对机器人的译法，几乎都从斯洛伐克语“robota”(意为劳役)音译为“罗伯特”(如英语 robot, 日语ロボット, 俄语 рабoтa, 德语 robot 等)，只有中国译为“机器人”。

针对人类社会对即将问世的机器人的不安，美国著名科学幻想小说家阿西莫夫于 1950 年在他的小说《我是机器人》中，提出了有名的“机器人三守则”：

- (1) 机器人必须不危害人类，也不允许它眼看人类受害而袖手旁观；
- (2) 机器人必须绝对服从于人类，除非这种服从有害于人类；
- (3) 机器人必须保护自身不受伤害，除非为了保护人类或者是人类命令它做出牺牲。

这三条守则，给机器人社会赋以新的伦理性，并使机器人概念通俗化，更易于为人类社会所接受。至今，它仍为机器人研究人员、设计制造厂家和用户，提供了十分有意义的指导方针。

美国人乔治·德沃尔在 1954 年设计了第一台电子程序可编的工业机器人，并于 1961 年发表了该项机器人专利。1962 年，美国万能自动化(Unimation)公司的第一台机器人 Unimate 在美国通用汽车公司(GM)投入使用，这标志着第一代机器人的诞生。从此，机器人开始成为人类生活中的现实。此后，人类继续以自己的智慧和劳动，谱写机器人历史的新篇章。

1.1.2 机器人学的发展

工业机器人问世后头 10 年，从 20 世纪 60 年代初期到 70 年代初期，机器人技术的发展较为缓慢，许多研究单位和公司所作的努力均未获得成功。这一阶段的主要成果有美国斯

坦福国际研究所(SRI)于1968年研制的移动式智能机器人夏凯(Shakey)和辛辛那提·米拉克龙(Cincinnati Milacron)公司于1973年制成的第一台适于投放市场的机器人T3等。

20世纪70年代,人工智能学界开始对机器人产生浓厚兴趣。他们发现,机器人的出现与发展为人工智能的发展带来了新的生机,提供了一个很好的试验平台和应用场所,是人工智能可能取得重大进展的潜在领域。这一认识,很快为许多国家的科技界、产业界和政府有关部门所赞同。随着自动控制理论、电子计算机和航天技术的迅速发展,到了20世纪70年代中期,机器人技术进入了一个新的发展阶段。到70年代末期,工业机器人有了更大的发展。进入80年代后,机器人生产继续保持70年代后期的发展势头。到80年代中期机器人制造业成为发展最快和最好的经济部门之一。

到20世纪80年代后期,由于传统机器人用户应用工业机器人已趋饱和,从而造成工业机器人产品的积压,不少机器人厂家倒闭或被兼并,使国际机器人学研究和机器人产业出现不景气。到90年代初,机器人产业出现复苏和继续发展迹象。但是,好景不长,1993—1994年又跌入低谷。全世界工业机器人的数目每年在递增,但市场是波浪式向前发展的,1980年至20世纪末,出现过三次马鞍形曲线。1995年后,世界机器人数量逐年增加,增长率也较高,机器人学以较好的发展势头进入21世纪。

进入21世纪,工业机器人产业发展速度加快,年增长率达到30%左右。其中,亚洲工业机器人增长速度高达43%,最为突出。

据联合国欧洲经济委员会(UNECE)和国际机器人联合会(IFR)统计,全球工业机器人1960—2006年底累计安装175万多台;1960—2011年累计安装超过230万台。工业机器人市场前景看好。

近年来,全球机器人行业发展迅速,2007年全球机器人行业总销售量比2006年增长10%。人性化、重型化、智能化已经成为未来机器人产业的主要发展趋势。现在全世界服役的工业机器人总数在100万台以上。此外,还有数百万服务机器人在运行。

根据IFR统计,2011年是工业机器人产业蓬勃发展的一年,全球市场同比增长37%。其中,中国市场的增幅最大,销售量达22577台,较2010年增长50.7%;2012年达到26902台,同比增长19.2%。到2015年,中国的工业机器人拥有量将达到十万台(套)。2011—2012年,中国和全球市场对工业机器人的需求创下新高。预测数据还表明,中国有望于2014年或2015年成为世界最大的机器人市场。德国KUKA机器人、日本川崎机器人等世界500强的机器人制造公司,近年来已将市场重点转到中国,ABB公司甚至把全球总部搬到中国。

在过去40多年间,机器人学和机器人技术获得引人注目的发展,具体体现在:①机器人产业在全世界迅速发展;②机器人的应用范围遍及工业、科技和国防的各个领域;③形成了新的学科——机器人学;④机器人向智能化方向发展;⑤服务机器人成为机器人的新秀而迅猛发展。

现在工业上运行的90%以上的机器人,都不具有智能。随着工业机器人数量的快速增长和工业生产的发展,对机器人的工作能力也提出更高的要求,特别是需要各种具有不同程度智能的机器人和特种机器人。这些智能机器人,有的能够模拟人类用两条腿走路,可在凹凸不平的地面上行走移动;有的具有视觉和触觉功能,能够进行独立操作、自动装配和产品检验;有的具有自主控制和决策能力。这些智能机器人,不仅应用各种反馈传感器,而且还运用人工智能中各种学习、推理和决策技术。智能机器人还应用许多最新的智能技术,如临

场感技术、虚拟现实技术、多真体技术、人工神经网络技术、遗传算法和遗传编程、仿生技术、多传感器集成和融合技术以及纳米技术等。

机器人学与人工智能有十分密切的关系。智能机器人的发展是建立在人工智能的基础上的,并与人工智能相辅相成。一方面,机器人学的进一步发展需要人工智能基本原理的指导,并采用各种人工智能技术;另一方面,机器人学的出现与发展又为人工智能的发展带来了新的生机,产生了新的推动力,并提供一个很好的试验与应用场所。也就是说,人工智能想在机器人学上找到实际应用,并使知识表示、问题求解、搜索规划、机器学习、环境感知和智能系统等基本理论得到进一步发展。粗略地说,由机器来模仿人类的智能行为,就是人工智能,或称为机器智能。而应用各种人工智能技术的新型机器人,就是智能机器人。

移动机器人是一类具有较高智能的机器人,也是智能机器人研究的一类前沿和重点领域。智能移动机器人是一类能够通过传感器感知环境和自身状态,实现在有障碍物的环境中面向目标的自主运动,从而完成一定作业功能的机器人系统。移动机器人与其他机器人的不同之处就在于强调了“移动”的特性。移动机器人不仅能够生产、生活中起到越来越大的作用,而且还是研究复杂智能行为的产生、探索人类思维模式的有效工具与实验平台。21世纪的机器人的智能水平,将提高到令人赞叹的更高水平。

1.2 机器人的定义和特点

1.2.1 机器人的定义

至今还没有机器人的统一定义。要给机器人下一个合适的并为人们普遍接受的定义是困难的。专家们采用不同的方法来定义这个术语。它的定义还因公众对机器人的想象以及科学幻想小说、电影和电视中对机器人形状的描绘而变得更为困难。为了规定技术、开发机器人新的工作能力和比较不同国家和公司的成果,就需要对机器人这一术语有某些共同的理解。现在,世界上对机器人还没有统一的定义,各国都有自己的定义。这些定义之间差别较大。这种差别的部分原因是很难区别简单的机器人与其密切相关的运送材料的“刚性自动化”技术装置。

关于机器人的定义,国际上主要有如下几种:

(1) 英国简明牛津字典的定义。机器人是“貌似人的自动机,具有智力的和服从于人的但不具人格的机器”。

这一定义并不完全正确,因为还不存在与人类相似的机器人在运行。这是一种理想的机器人。

(2) 美国机器人协会(RIA)的定义。机器人是“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的,通过可编程序动作来执行种种任务的,并具有编程能力的多功能机械手(manipulator)”。

尽管这一定义较实用些,但并不全面。这里指的是工业机器人。

(3) 日本工业机器人协会(JIRA)的定义。工业机器人是“一种装备有记忆装置和末端执行器(end effector)的,能够转动并通过自动完成各种移动来代替人类劳动的通用机器”。

或者分为两种情况来定义:

① 工业机器人是“一种能够执行与人的上肢类似动作的多功能机器”。

② 智能机器人是“一种具有感觉和识别能力,并能够控制自身行为的机器”。

前一定义是工业机器人的一个较为广义的定义。后一种则分别对工业机器人和智能机器人进行定义。

(4) 美国国家标准局(NBS)的定义。机器人是“一种能够进行编程并在自动控制下执行某些操作和移动作业任务的机械装置”。

这也是一种比较广义的工业机器人定义。

(5) 国际标准组织(ISO)的定义。“机器人是一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能机械手,这种机械手具有几个轴,能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置,以执行种种任务”。

显然,这一定义与美国机器人协会的定义相似。

(6) 关于我国机器人的定义。随着机器人技术的发展,我国也面临讨论和制订关于机器人技术的各项标准问题,其中包括对机器人的定义。我们可以参考各国的定义,结合我国情况,对机器人作出统一的定义。

《中国大百科全书》对机器人的定义为:能灵活地完成特定的操作和运动任务,并可再编程序的多功能操作器。而对机械手的定义为:一种模拟人手操作的自动机械,它可按固定程序抓取、搬运物件或操持工具完成某些特定操作。

我国科学家对机器人的定义是:“机器人是一种自动化的机器,具备一些与人或生物相似的智能能力,如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力,是一种具有高度灵活性的自动化机器。”

上述各种定义有共同之处,即认为机器人:①像人或人的上肢,并能模仿人的动作;②具有智力或感觉与识别能力;③是人造的机器或机械电子装置。

随着机器人的进化和机器人智能的发展,这些定义都有修改的必要,甚至需要对机器人重新定义。我们将在最后一章讨论机器人的进化问题。

机器人的范畴不但要包括“由人类制造的像人一样的机器”,还应包括“由人类制造的生物”,甚至包括“人造人”,尽管我们不赞成制造这种人。看来,本来就没有统一定义的机器人,今后更难为它下个确切的和公认的定义了!

1.2.2 机器人的主要特征

机器人具有许多特点,而通用性和适应性是机器人的两个最主要特征。

1. 通用性(versatility)

机器人的通用性取决于其几何特性和机械能力。通用性指的是某种执行不同的功能和完成多样的简单任务的实际能力。通用性也意味着,机器人具有可变的几何结构,即根据生产工作需要变更的几何结构;或者说,在机械结构上允许机器人执行不同的任务或以不同的方式完成同一工作。现有的大多数机器人都具有不同程度的通用性,包括机械手的机动性和控制系统的灵活性。

必须指出,通用性不是由自由度单独决定的。增加自由度一般能提高通用性程度。不过,还必须考虑其他因素,特别是末端装置的结构和能力,如它们能否适用不同的工具等。

2. 适应性(adaptability)

机器人的适应性是指其对环境的自适应能力,即所设计的机器人能够自我执行未经完全指定的任务,而不管任务执行过程中所发生的没有预计到的环境变化。这一能力要求机器人认识其环境,即具有人工知觉。在这方面,机器人使用其下述能力:

- (1) 运用传感器感测环境的能力;
- (2) 分析任务空间和执行操作规划的能力;
- (3) 自动指令模式能力。

迄今为止所开发的机器人知觉与人类对环境的解释能力相比,仍然是十分有限的。这个领域内的某些重要研究工作正在进行之中。

对于工业机器人来说,适应性指的是它所编好的程序模式和运动速度能够适应工件尺寸和位置以及工作场地的变化。这里,主要考虑两种适应性:

- (1) 点适应性 它涉及机器人如何找到点的位置。例如,找到开始程序操作点的位置。

点适应性具有四种搜索(允许对程序进行自动反馈调节),即近似搜索、延时近似搜索、精确搜索和自由搜索。近似搜索允许传感器在程序控制下沿着程序方向中断机器人运动。延时近似搜索能够在编程传感器被激发一定时间之后中断机器人的运动。精确搜索能够使机器人停止在传感器信号出现变化的精确位置上。自由搜索能够使机器人找到满足所有编程传感器的位置。

- (2) 曲线适应性 它涉及机器人如何利用由传感器得到的信息沿着曲线工作。曲线适应性包括速度适应性和形状适应性两种。

速度适应性涉及选择最佳运动速度的问题。即使有了完全确定的运动曲线,选择最佳运动速度仍然困难。有了速度适应性之后,就能够根据传感器提供的信息,来调整机器人的运动速度。

形状适应性涉及要求工具跟踪某条形状未知的曲线问题。

综合运用点适应性和曲线适应性,能够对程序进行自动调整。初始编制的仅仅是个粗略的程序,然后由系统自行适应实际位置和形状。

1.3 机器人的构成与分类

1.3.1 机器人系统的构成

1886年法国作家利尔亚当在他的小说《未来的夏娃》中将外表上像人的机器起名为“安德罗丁”(Aandroid),它由以下四部分组成:

- (1) 生命系统 具有平衡、步行、发声、身体摆动、感觉、表情、调节运动等功能;
- (2) 造型解质 关节能自由运动的金属覆盖体,一种盔甲;
- (3) 人造肌肉 在上述盔甲上有肌肉、静脉、性别特征等人体的基本形态;
- (4) 人造皮肤 含有肤色、肌理、轮廓、头发、视觉、牙齿、手爪等。

现在的一个机器人系统,一般由下列四个互相作用的部分组成:机械手、环境、任务和控制器,如图 1.1(a)所示,图 1.1(b)为其简化形式。

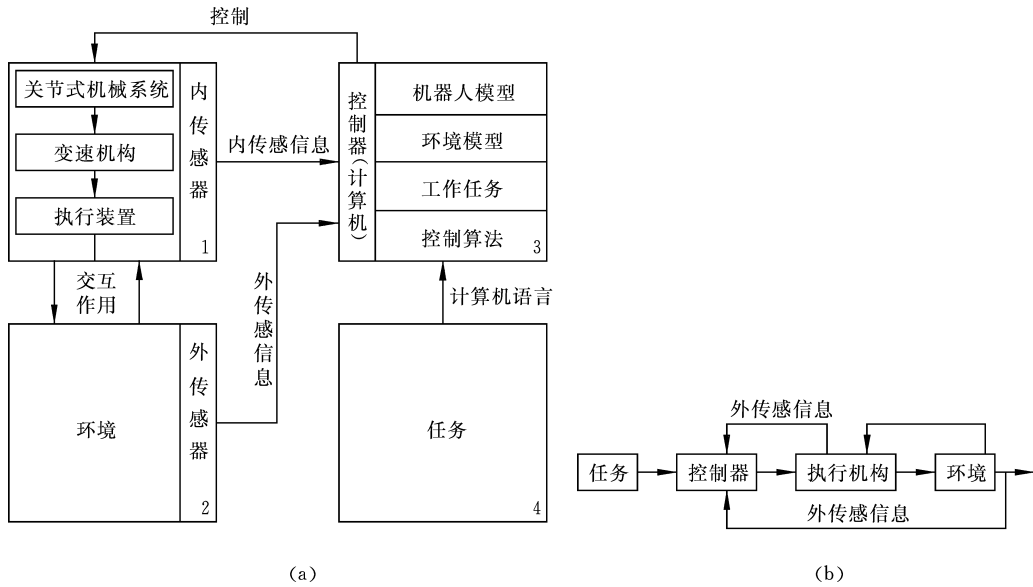


图 1.1 机器人系统的基本结构

机械手是具有传动执行装置的机械，它由臂、关节和末端执行装置（工具等）构成，组合为一个互相连接和互相依赖的运动机构。机械手用于执行指定的作业任务。不同的机械手具有不同的结构类型。图 1.2 给出机械手的几何结构简图。

在一些文献中，称机械手为操作机、机械臂或操作手。大多数机械手是具有几个自由度的关节式机械结构，一般具有六个自由度。其中，前三个自由度引导夹手装置至所需位置，而后三个自由度用来决定末端执行装置的方向，见图 1.2。我们将在后面进一步讨论机械手的结构。

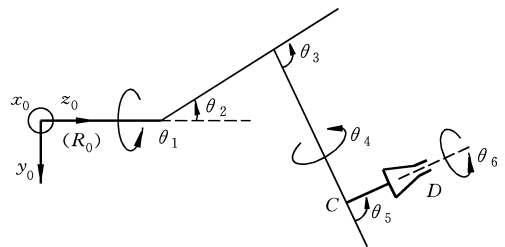


图 1.2 机械手的几何结构简图

环境即机器人所处的周围环境。环境不仅由几何条件（可达空间）所决定，而且由环境和它所包含的每个事物的全部自然特性所决定的。机器人的固有特性，由这些自然特性及其环境间的互相作用所决定。

在环境中，机器人会遇到一些障碍物和其他物体，它必须避免与这些障碍物发生碰撞，并对这些物体发生作用。

机器人系统中的一些传感器是设置在环境中某处而不在机械手上面。这些传感器是环境的组成部分，称为外传感器。

环境信息一般是确定的和已知的，但在许多情况下，环境具有未知的和不确定的性质。

我们把任务定义为环境的两种状态（初始状态和目标状态）间的差别。必须用适当的程序设计语言来描述这些任务，并把它们存入机器人系统的控制计算机中去。这种描述必须能为计算机所理解。随着所用系统的不同，语言描述方式可为图形的、口语的（语音的）或书面文字的。

计算机是机器人的控制器或脑子。机器人接收来自传感器的信号，对之进行数据处理，并

按照预存信息、机器人的状态及其环境情况等,产生出控制信号去驱动机器人的各个关节。

对于技术比较简单的机器人,计算机只含有固定程序;对于技术比较先进的机器人,可采用程序完全可编的小型计算机、微型计算机或微处理机作为其电脑。具体说来,在计算机内存储有下列信息:

(1) 机器人动作模型,它表示执行装置在激发信号与随之发生的机器人运动之间的关系。

(2) 环境模型,它描述机器人在可达空间内的每一事物。例如,说明由于哪些区域存在障碍物而不能对其起作用。

(3) 任务程序,它使计算机能够理解其所要执行的作业任务。

(4) 控制算法,是计算机指令的序列,它提供对机器人的控制,以便执行需要做的工作。

1.3.2 机器人的自由度

自由度是机器人的一个重要技术指标,它是由机器人的结构决定的,并直接影响到机器人的机动性。

1. 刚体的自由度

物体上任何一点都与坐标轴的正交集有关。物体能够对坐标系进行独立运动的数目称为自由度(degree of freedom, DOF)。物体所能进行的运动(见图 1.3)有:

沿着坐标轴 Ox , Oy 和 Oz 的 3 个平移运动 T_1 , T_2 和 T_3 ;

绕着坐标轴 Ox , Oy 和 Oz 的 3 个旋转运动 R_1 , R_2 和 R_3 。

这意味着物体能够运用 3 个平移和 3 个旋转,相对于坐标系进行定向和运动。

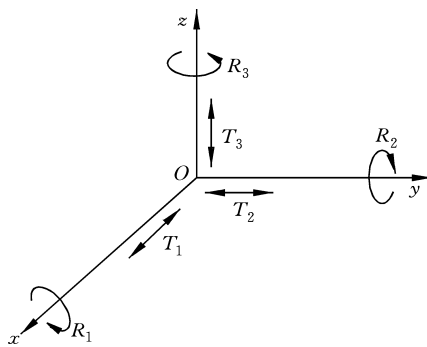


图 1.3 刚体的 6 个自由度

一个简单物体有 6 个自由度。当两个物体间确立起某种关系时,每一物体就对另一物体失去一些自由度。这种关系也可以用两物体间由于建立连接关系而不能进行的移动或转动来表示。

2. 机器人的自由度

人们期望机器人能够以准确的方位把它的端部执行装置或与其连接的工具移动到给定点。如果机器人的用途预先是不知道的,那么它应当具有 6 个自由度;不过,如果工具本身具有某种特别结构,那么就可能不需要 6 个自由度。例如,要把一个球放到空间某个给定位,有 3 个自由度就足够了(见图 1.4(a))。又如,要对某个旋转钻头进行定位与定向就需要 5 个自由度,该钻头可表示为某个绕着其主轴旋转的圆柱体(见图 1.4(b))。

一般地,机器人机械手的手臂具有 3 个自由度,其他的自由度数为末端执行装置所具有。当要求某一机器人钻孔时,其钻头必须转动。不过,这一转动总是由外部的马达带动

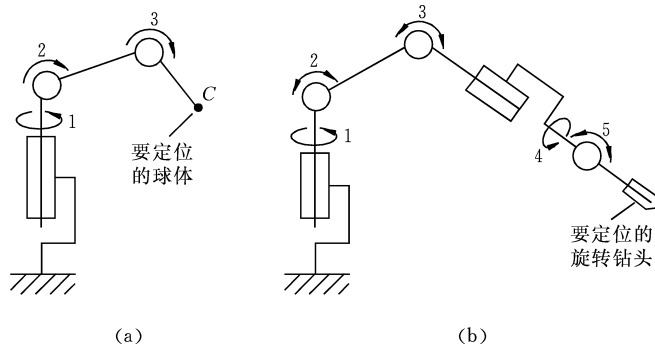


图 1.4 机器人自由度举例

的,因此,不把它看做机器人的一个自由度。这同样适用于机器人的机械手。机械手的夹手应能开闭。不过,也不能把夹手的这个开闭所用的自由度当作机器人的自由度之一,因为这个自由度只对夹手的操作起作用。这一点是很重要的,必须记住。

3. 自由度与机动度

不能把自由度描述为一个事物对另一个事物的属性。图 1.5(a)就是一例。图中,对于固定底座来说,点 A 没有自由度,点 B 有两个自由度,而点 C 有三个自由度。如果点 D 的位置被确定,那么用于移动 D 的关节 C 在理论上将是冗余的,尽管在实际上并没有这种需要。这时,可以认为关节 C 再没有自由度了,但具有机动度(degree of mobility)。不过,如果 CD 是由定位点 C 来定向的,那么关节 C 就成为一个自由度,它能够使 CD 在一定范围内定向。如果要使 CD 指向任何方向,那么就需要另外两个自由度。

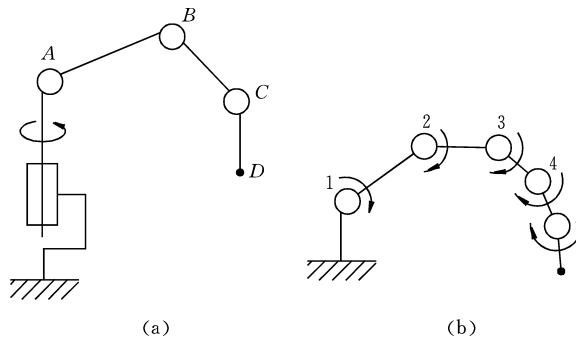


图 1.5 自由度与机动度

有两点值得记住:

(1) 并不是所有的机动性都构成一个自由度。从所执行的作用来考虑,一个关节可能成为一个自由度,但是并非一成不变的。例如,在图 1.5(b)中,尽管有很多关节数(五个),但是在任何情况下这台机器人的独立自由度不多于两个。

(2) 一般不要求机器人具有六个以上的独立自由度,但是可以采用多得多的机动度。弄清这一点对于建立机器人的控制是十分重要的。过多的自由度可能产生冗余自由度。尽管如此,仍然有人正在研究具有九个自由度的机器人,以求得到更大的机动性。

1.3.3 机器人的分类

机器人的分类方法很多。这里首先介绍三种分类法,即分别按机械手的几何结构、机器人的控制方式以及机器人的信息输入方式来分。

1. 按机械手的几何结构分类

机器人机械手的机械配置形式多种多样。最常见的结构形式是用其坐标特性来描述的。这些坐标结构包括笛卡儿坐标结构、柱面坐标结构、极坐标结构、球面坐标结构和关节式球面坐标结构等。这里简单介绍柱面、球面和关节式球面坐标结构等三种最常见的机器人。

(1) 柱面坐标机器人 柱面坐标机器人主要由垂直柱子、水平手臂(或机械手)和底座构成。水平机械手装在垂直柱子上,能自由伸缩,并可沿垂直柱子上下运动。垂直柱子安装在底座上,并与水平机械手一起(作为一个部件)能在底座上移动。这样,这种机器人的工作包迹(区间)就形成一段圆柱面,如图 1.6 所示。因此,把这种机器人叫做柱面坐标机器人。

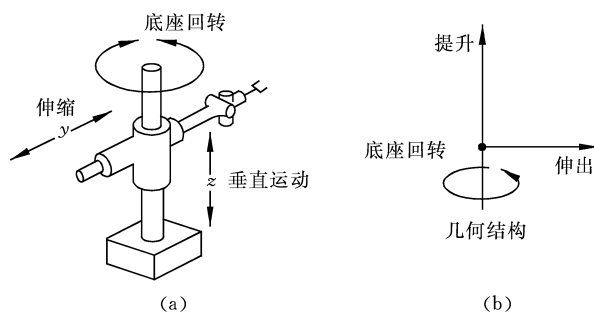


图 1.6 柱面坐标机器人

(2) 球面坐标机器人 这种机器人如图 1.7 所示。它像坦克的炮塔一样。机械手能够作里外伸缩移动、在垂直平面上摆动以及绕底座在水平面上转动。因此,这种机器人的工作包迹形成球面的一部分,并被称为球面坐标机器人。

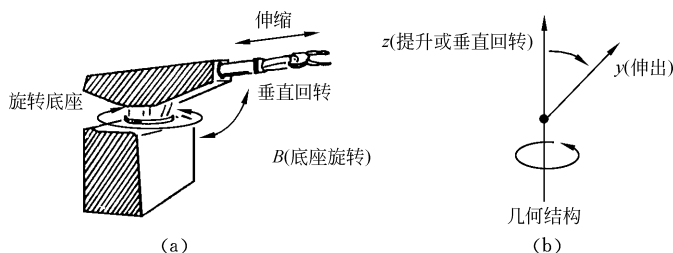


图 1.7 球面坐标机器人

(3) 关节式球面坐标机器人 这种机器人主要由底座(或躯干)、上臂和前臂构成。上臂和前臂可在通过底座的垂直平面上运动,如图 1.8 所示。在前臂和上臂间,机械手有个肘关节;而在上臂和底座间,有个肩关节。在水平面上的旋转运动,既可由肩关节进行,也可以绕底座旋转来实现。这种机器人的工作包迹形成球面的大部分,称为关节式球面机器人。