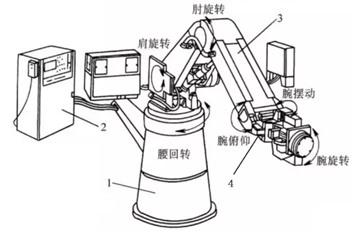
工业机器人的基本知识

[工业机器人](http://www.imrobotic.com/)定义是什么?

机器人是一种高科技智能设备，在工业生产中占有非常重要的地位，尤其是它能自动执行工作，在一些特殊环境中能够很好地代替人类。很多人对机器人的印象还来源于电视，希望通过下面的介绍能够帮助大家进一步了解机器人。

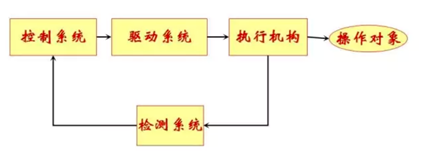
一、工业机器人系统的构成

工业机器人由执行机构（图1中的1、3）、控制系统（图1中的2）、驱动系统（如液压缸、电机等）、检测系统四大部分构成。



**图1 工业机器人的组成**

 这四部分之间的运作关系如图2所示，由控制系统传达信号到驱动系统，驱动执行装置动作，检测系统监控执行装置的执行结果，并反馈回控制系统，及时调整控制信号。



**图2 工业机器人各部分关系**

（1）执行机构。执行机构是具有和人手臂相似的动作功能，可在空间抓放物体或执行其他操作的机械装置，通常包括机座、手臂、手腕和末端执行器。见图1中的1、3。其中，手抓主要有气压式末端夹持机构，气吸式末端夹持机构，液压式末端夹持机构、磁吸式末端夹持机构，气吸式靠大气压力把吸附头与物体压在一起，实现物体的抓取。

（2）控制系统。控制系统是机器人的大脑，支配机器人按规定的程序运动，并记忆动作顺序、运动轨迹、运动速度等指令信息，以实现重复运动。工业机器人的运动自由度定义是指工业机器人的自由度（Degree of Freedom, DOF）是指机器人系统在空间中能够独立运动的关节数目，即机器人能够独立控制的运动变量的数量。工业机器人的集中坐标系：①基坐标系（Base Coordinate System），又称为机座坐标系，位于机器人基座。基坐标系在机器人基座中有相应的零点，这使固定安装机器人的移动具有可预测性。在正常配置的机器人系统中，工人可通过控制杆进行该坐标系的移动。②世界坐标系（World Coordinate System），又称为大地坐标系或绝对坐标系。如果机器人安装在地面， 在基坐标系下示教编程很容易，但当机器人吊装时，机器人末端移动直观性差，因而示教编程较为困难。

另外，如果两台或多台机器人共同协作时，例如，一台安装于地面，另一台倒置，倒置机器人的基坐标系也将上下颠倒。当分别在两台机器人的基坐标系A、B中进行运动控制时，很难预测相互协作运动的情况。三种常见的地图包含点云地图，栅格地图和二维占据地图等。①点云地图是由无数的点云构成。优点：点云地图能够在模型中尽可能地保留原始的环境量测信息，同时能够更好的描述环境。由于点云地图能够在模型中保留大量的环境信息，研究人员基于点云进行了环境感知建模相关的研究。例如三维重建。缺点：由于点云地图需要在环境模型中存储大量无序的三维数据点，即便是采取专用的处理方法，如点云库PCL(Point Cloud Library)，其实时性仍然不理想并且随之会带来大量的存储和运算开销，无法做到对数据进行实时处理。因此，其在实际的机器人感知避障系统中使用较少。②栅格地图。栅格映射目前在机器人领域使用的最为广泛，它将环境划分为若干个栅格，在每个栅格中会存储占据或高程信息。目前的栅格地图可以根据其栅格内存储数据的差异分为二维栅格地图、高程栅格地图与三维栅格地图。概率占据栅格地图中每个栅格都存储着概率化的占据信息。③二维占据栅格地图，通过二维栅格单元的颜色表示地图的不同状态。栅格单元具有三种状态:占据(Occupied)， 空闲(Free) 和未知( Unknown)，占据表示障碍物区域，空闲表示无障碍物的开放区域，未知表示传感器没有探测的区域。

（3）驱动系统。驱动系统是将控制系统发出的控制指令信号放大，驱动执行机构运动的传动装置。常见的有电气、液压、气动和机械等方式。

（4）检测系统。检测系统主要检测执行系统的运动位置和状态，并实时将实际位置、状态信息反馈给控制系统，控制系统将其与设定值进行比较，实时调整发送给驱动系统的指令，使得执行系统达到设定位置和状态。检测系统通常是各种传感器。机器人视觉系统是其中非常重要的传感器。它是指用计算机来实现人的视觉功能，也就是用计算机来实现对客观的三维世界的识别。人类接收的信息70%以上来自视觉，人类视觉为人类提供了关于周围环境最详细可靠的信息。

人类视觉所具有的强大功能和完美的信息处理方式引起了智能研究者的极大兴趣，人们希望以生物视觉为蓝本研究一个人工视觉系统用于机器人中，期望机器人拥有类似人类感受环境的能力。机器人要对外部世界的信息进行感知，就要依靠各种传感器。就像人类一样，在机器人的众多感知传感器中，视觉系统提供了大部分机器人所需的外部相 界信息。因此视觉系统在机器人技术 中具有重要的作用。依据视觉传感器的数量和特性，目前主流的移动机器人视觉系统有单目视觉、双目立体视觉、多目视觉和全景视觉等。单目视觉，单目视觉系统只使用一个视觉传感器。单目视觉系统在成像过程中由于从三维客观世界投影到N维图像上，从而损失了深度信息，这是此类视觉系统的主要缺点( 尽管如此，单目视觉系统由于结构简单、算法成熟且计算量较小，在自主移动机器人中已得到广泛应用，如用于目标跟踪、基于单目特征的室内定位导航等。同时，单目视觉是其他类型视觉系统的基础，如双目立体视觉、多目视觉等都是在单目视觉系统的基础上，通过附加其他手段和措施而实现的。

二、工业机器人的分类

工业机器人有多种分类方式：①按照程序输入方式划分，可分为编程输入型和示教输入型两类；②按照驱动方式划分，可分为液压驱动、气压驱动、电气驱动等类型；③按照机械结构划分，可划分为串联机器人、并联机器人、串并混联机器人；④按照运动坐标形式划分，可分为圆柱坐标型机器人、球坐标型机器人、直角坐标型机器人、多关节型机器人、平面关节型（SCARA）机器人等5种；⑤按照应用领域划分，可分为焊接机器人、装配机器人、搬运机器人、码垛机器人、上下料机器人、包装机器人、喷涂机器人、切割机器人等。⑥按照负载来划分，可分为小型负载机器人（负载小于20kg）、中型负载机器人（负载介于20～100kg 之间）和大型负载机器人（负载大于 100kg）。

三、工业机器人的发展趋势

工业机器人具有可编程、拟人化、通用性、机电一体化等特征。可编程，是指工业机器人可以随着其工作环境变化的需要进行再编程，因此，它在小批量、多品种的柔性制造过程中扮演重要角色，可发挥均衡、高效率的功用与价值，是柔性制造系统的重要组成部分之一。拟人化，是指工业机器人在机械结构上有类似于人体的行走、腰转等动作，以及大臂、小臂、手腕、手爪等部位。通用性，是指除了专门设计的工业机器人外，一般工业机器人在执行不同的作业任务时具有较好的通用性；比如，更换工业机器人末端执行器（手爪、工具等）便可以执行不同的作业任务。机电一体化，是指工业机器人实现了机械技术、微电子技术、信息技术等的有机结合，是典型的机电一体化产品。

工业机器人在制造业中的优势主要体现为自动化、高效率和安全性。随着工业机器人在现代制造业发展过程中的价值越来越突出，工业机器人正呈现以下发展趋势：

1）工业机器人走向智能化

工业机器人的发展可分为三个阶段，即从第一代的示教再现机器人（通过示教存储信息，工作时读出这些信息，向执行机构发出指令，执行机构按指令再现示教的操作，广泛应用于焊接、上下料、喷漆和搬运等），到带有简单感觉系统的机器人（带有视觉、触觉等功能，可以完成检测、装配、环境探测等作业），再到智能机器人（不仅具备感觉功能，而且能在无人指令情况下，根据所处环境自行决策，规划出行动）。

目前，在工业中应用的机器人绝大部分都不智能。因此，智能化是未来工业机器人的主要发展方向。在操作臂技术上，将向着提高功率密度、通用性、轻量化、多自由度、多种材料、仿人体结构、高负重与自重比及一体化机构方向发展。在传感与感知上，通过采用识别、跟踪、力觉、视觉等传感器，实现对各种外部环境、各种复杂作业的自主识别。在安全技术上，工业机器人由单机时代的自身安全进化到物联网时代的网络安全；在导航技术上，工业移动机器人则向多模态、室外及无标识自然导航方向发展。

2）工业机器人由单机走向多机协同

目前工业机器人的应用仍以单机自动化为主，但在一些应用场景环节已实现了多机器人的协同应用。比如，在汽车行业的车身喷涂、焊接等场景，往往一个工位上需要有多台机器人来协同工作，与此同时工业机器人主流厂商也针对这些场景推出了多机器人协同应用解决方案。以安川电机为例，在2020年中国国际工业博览会上，安川电机就展示了商用车白车身焊接及喷涂工位的多机器人协同应用。其中，在商用车白车身喷涂工位，安川电机展示了利用喷涂机器人、开门机器人等四款不同的机器人共同完成车身的喷涂作业；而在商用车白车身的焊接工位，同样也是在一个工位内配置多种类型的机器人，完成搬运、点焊以及弧焊作业。而为了实现高效的生产，工业机器人多机协同作业将会有更多应用。

3）传统工业机器人将走向人机共融

传统工业机器人的感知能力较弱，只能在稳定的环境中工作，也就是主要在结构化环境中执行各类确定性任务，否则就容易出错甚至伤人毁物。为克服上述不足、有效扩展和延伸人类能力，共融机器人应运而生并代表了未来工业机器人的发展方向。所谓，共融机器人，是指能与作业环境、人、其他机器人自然交互，自主适应复杂动态环境并协同作业的机器人。“共融”具体包含机器人与环境的自然交互、机器人之间的互助互补、机器人与人之间的协同作业三层含义。而为实现以上与环境，与其他机器人，与人类共存、共事、共融的目标，机器人需要在“身体”“感知”和“意识”上进行革新。

4）复合式工业机器人成趋势

为了满足更多样的应用场景，如今除了工业机器人单体之外，还出现了许多复合式工业机器人，例如桁架式机械手、轨道式机器人、移动协作机器人（AMR/AGV+协作机器人）等，用于工业机器人移动式操作的场景。图3 是库卡（KUKA）线性滑轨机器人和KUKA移动机器人KMR iiwa。线性滑轨，相当于给工业机器人又添加了一个轴，从而增大了工业机器人的工作空间，而在同一个线性滑轨上，通常可以使用多个机器人。KUKA移动机器人KMR iiwa则使得人机协作更加灵活。



**图 3 KUKA线性滑轨机器人与KUKA移动机器人KMR iiwa（来源：KUKA官网）**

5）工业机器人应用行业与场景不断延伸拓展

世界第一台工业机器人应用于汽车行业，直至目前，汽车工业仍然是工业机器人最大的应用市场，也是标准最高、使用密度最高的市场。但与此同时，工业机器人也正在向一般工业拓展，应用场景不断深化。在行业应用上，工业机器人已迅速拓展到3C电子、金属加工、医疗、烟草、物流、食品、制药、塑料、橡胶、化工等行业。在具体应用场景上，工业机器人的应用则包括焊接、喷涂、打磨、涂胶、上下料、去毛刺、搬运、装配、分拣、包装、检测等。

6）云化机器人及工业机器人云平台兴起

在智能制造生产场景中，需要工业机器人有自组织和协同的能力来满足柔性生产，这就带来了云化机器人（机器人大脑在云端）及工业机器人云平台的需求。和传统机器人相比，云化机器人需要通过网络连接到云端的控制中心，基于超高计算能力的平台，并通过大数据和人工智能对生产制造过程进行实时运算控制。未来，随着5G、AI、云计算等技术的发展成熟，云化机器人及工业机器人云平台或将成为新一轮发展热点。