

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

21世纪科技大趋势—机器人技术



编前语

伴随着时光的流逝，人类历史上一个重要的世纪——20 世纪，在高科技文明的掩映下，正悄然地离我们而去，一个希望与挑战并存的 21 世纪则满怀着强烈的激情向我们走来。

适逢世纪更迭的关键时刻，我们除了重温以往的舒适与优越之外，更应理智地立足现实，总结过去，展望未来。21 世纪将是科技时代的预言已成为人们共知的真理，到那时，现今的中小学生无疑将是驾驭科技的主体。而遍观我国目前的中小学教育，相关的科技内容却十分匮乏，很不利于学生科技意识和能力的培养。基于此，由国家教委普教处和北京市科协组织部分专家学者，从现实出发，选取与我们的关系密切的内容为写作对象，策划编写了《21 世纪科技大趋势》丛书。全书分 14 册，包括气象科学、医疗技术、计算机技术、海洋工程、机器人技术、生物工程、交通科学、军事科技、信息技术、环境科学、航空航天工程、材料科学、能源科学等方面的内容。希望通过这套丛书使同学们从中了解当今科技热点发展的动态及趋势，提高和培养同学们发明创造的素质与能力。

当然，由于时间等多方面原因所致，不足之处在所难免，还望同行与读者批评指正。

编 者

1996 年 12 月 28 日于北京

1 机器人漫话

1.1 什么是机器人

如果你走进一个有机器人的卡车工厂，希望能看见像电视里“变形金刚”那样神采奕奕的机器人在装配零件，你一定会大失所望。因为现代工业机器人更像普通的机器而远不像人。那我们为什么叫它“机器人”，而不称之为“自动工作机”呢？因为机器人是一种特殊的自动机器，它不仅能做特定的工作，而且可以重新调整和编程以完成很多不同的工作。这种可编程性和多功能适应性正好说明为什么所有的机器人都可视为自动化机器，而并非所有的自动化机器都是机器人了。

被国际上普遍接受的工业机器人的定义只有一个，是由美国机器人工业协会的一批工业科学家于1979年提出的。他们把工业机器人定义为：“一种可改编程序的多功能操作机构，用以按照预先编制的能完成多种作业的动作程序运送材料、零件、工具或专用设备。”让我们来仔细研究这个定义，并理解其确切含义。

第一个关键词组是“可编程序”。其含意为：机器人是这样一种机器，其程序不仅可以编制一次，且可视需要编制任意次。我们日常所用的很多电子装置都带有可编程的计算机芯片。例如，在电子数字闹钟的芯片内部编一个程序，指令它演奏一曲“友谊地久天长”作为闹铃声，然而这些程序不能随意改变，也不允许主人自己输入新的程序。例如，即使你对“友谊地久天长”已经厌烦，也不能在钟内存储另一首自己喜爱的歌曲，因为其程序是固定在内部的。而机器人的程序是可以置入的，即根据使用者的意愿，对之可以改变、增加或删除。一个机器人可具有按任意顺序做不同事情的多种程序。当然，为了可以重新编程，一个机器人必须具有一个可输入新的指令和信息的计算机。计算机可以是“随身”的，即计算机的控制板就装在机器人身上；或是“体外”的，即控制机器人的计算机，在保证与机器人互通信息的情况下，可置于机器人体外的任何位置。

定义中的第二个关键词是“多功能”。其含义是：机器人是多用途的，即可完成多种工作，如用于激光切割的机器人，对其终端工具稍加改变，即可用于焊接、喷漆或装置操作等工作。

第三个关键词是“操作机构”。其含义为：机器人工作时，需要一个移动工作对象的机构。正如机器人与其他自动化机器的区别在于它的程序可重编性和万能性，机器人与计算机的区别在于它有一个操作机构。

最后，让我们研究“多种预编动作程序”的意义。其含义为：机器人工作处于动态过程中，即以连续生产活动为其主要特征。

虽然这个定义看来相当抽象，而且有些模棱两可，但它确实把机器人与固定程序自动化机器区别开来，与类似食品处理机那种只需要更换

配件便可完成调料至绞馅的多功能机器区别开来。同时，它也使机器人远远脱离了科学幻想类小说的范畴，因为机器人能否具备任何人类特征，归根到底是依赖于人类的创造才能。

通过这一番讨论，我们可以把机器人看作自动化机械发展道路上一个合理的重大进步。我们已经把由人控制的单一功能的生产机械发展为无人控制的多功能机械。工业革命被认为是创造机器人的新纪元：我们正在研究给机器人装上“眼睛”，使它具有人工智能，会“学习”和适应环境的变化。

1.2 机器人的“种族”

机器人是科学技术发展到一定历史阶段的产物。按机器人和人工智能专家波斯佩洛夫的说法“科学始于分类”，那么，机器人又有那些类别呢？

目前，对机器人还没有统一的分类，各派专家都按自己的标准提出了各自的分类法。从事研制和使用机器人的动力机和机械手的一些单位代表建议，应根据机器人的运动学、几何学和动力学等方面的特点来分类。如按机器人的运动参数来分类的话，要依据它的移动速度；如按几何参数来分类的话，要依据它的职能器官，首先是它的机械手的尺寸，按这些器官的移动范围来归类；如按动力学来划分的话，可依据重量把它分三类：小于五公斤（人用一只手能移动的重量）的算一类；5~40 公斤（人用双手能移动的重量）算一类；40 公斤以上（必须在几个人的共同努力之下才能移动的重量）算一类。

研究机器人控制系统的专家却提出了另一种建议：应该根据控制过程中人的参与程度来分类。即把机器人分为以下几种：第一类是生物工程机器人，包括由根据模仿原理控制的机器人，这就是那些像虾、蟹一样露于体表的外骨骼，即直接罩在机器人身上的机械动力架。属于这一类的还有不用人靠近，而由操作员从控制台控制的机器人，以及半自动机器人，即操作员从控制台视情况仅仅改变其动作程序的机器人。这些机器人不属于完全意义上的机器人之列，因为它们的智能完全或部分地由操作人员的智能所代替。第二类才是所谓的真正的机器人。这是自主操纵的机器人，即它工作时，不需要人去参与，它是装有人工电脑的自动机。我们从这里可以看出，这种分类法是根据机器人的智力程度作出的，即是由计算机的能力以及构成控制装置基础的软件的灵活性来确定的。

不过，从事机器人应用的专家们却有自己的考虑：根据机器人的应用范围或生存环境来分类。他们认为，自然界里的动物形形色色，有的生活在地上，有的生活在地下，有的生活在空中，有的生活在海洋里；机器人也一样，它们为人类服务，有的在地上生活，有的在宇宙空中奔忙，有的忙碌于碧波荡漾的汪洋大海里，有的服役于极地冰原，有的置身在荒漠孤岛。

现在的机器人大致有：工业机器人、农业机器人、运输机器人、建筑机器人、日常生活机器人。在控制论的推动下，人们认为这一大群机器人由电脑、遥测传感器、机械控制器支撑着，它们可以分为三大类，即生产用的机器人、供研究用的机器人和供生活用的机器人。

1970 年，有人就智能机器人的研究问题曾说过：机器人的进化是在动物进化达到极限，即人类出现之后开始的，在目前看来，它至少在某些领域内可以超过人类；动物的进化过程实际上是一个尝试与失误交替的过程，但机器人的进化目前则是经过人的深思熟虑的结果。

正因为这样，机器人学专家们才紧紧把握着机器人进化的时代脉搏，不同意那些狭隘的专业分类法，他们提出了按代分类法：第一代机器人是工业机器人，它们是一些具有最简单智能的操作器，它们可以训练并完成预先指定的循环作业图表；第二代机器人是所谓的感觉机器人，它们的特点是具有各种感觉器官即传感器，如机器人的手位传感器、应力传感器好像是机器人的触觉器官，光电传感器是它独特的视觉器官，微音器则是它的听觉器官，如此等等；第三代机器人是智能机器人，这种机器人的使命不仅是模仿人的机械动作，而且是解决一些复杂的智力问题：识别零件的形状和位置，组装随意摆放的部件，识图，检查产品质量……

这种分类法反应了机器人的产生和发展过程，因为它非常简明，故此本书将采用这种分类法，并在以后的部分分别谈谈每一代机器人。

1.3 我们离不开机器人

机器人的万能性和可编程序性，决定了它将取代其他一些自动化机器，特别是在生产中，它与我们人类紧密相连。由于它的万能性，可以提高生产率，改进产品质量，并从多方面降低生产成本。对于一个产品经常变化的市场来说，对机器人重新调整和编程所需费用，远远低于重新调整固定化的自动化机器。如果因为货币贬值和商品竞争而引起人们对产品的需求发生变化，则机器人的万能性对于尽快对产品进行局部调整，显得尤为重要。另外由于机器人承担了很多危险或令人厌烦的工作，许多的职业病、工伤及因此需要付出的高昂代价都可以避免了。因为机器人总是以相同的方式完成其工作，所以产品质量十分稳定，这也会给制造者带来确定的效益：产品的生产率可以预测，库存量也可以得到较好的控制。产品总价值中每一项费用的节省，都将提高产品在各种市场上的竞争能力。机器人的另一优点是可用于小批量生产，而固（定）化的自动装置一般只对大批量的、标准化的生产才是有利的。

使用机器人的理由还有很多。过去几年劳动力价格显著地提高，而人的工作速度并没有什么提高。由于工人工资太高，使用机器人可否降低成本，就引起了人们的极大关注。诚然，机器人的初始投资较高，可它一旦投入使用，则可以加快节奏、延长生产时间，创造更多的价值。同时，由于机器人承担了一些危险而单调的工作，人的工作条件也得到了改善。而机器人很少会产生像人一样的疲劳和厌烦，因而就不会生产出次品来，这样就降低了生产费用。机器人还可以在从原材料加工到汽车装配等多种应用中，使产量得到提高。另外，它特别适合在战场或危险环境下工作，例如在外层空间或海底工作。最后，同机器人打交道也很有趣。它为包括业余爱好者在内到高级机器人设计师的每一个人提供了大展宏图的机会。

工业机器人已经在机械制造业得到了广泛的应用。机器人在高温、肮脏而危险的铸造过程中，把熔化的金属浇入铸模；另一个广泛应用是焊接。主要是为了连续进行点焊和缝焊，也是为了使人脱离对人有害、使人厌恶的高温 and 散发臭氧的环境。有害健康的喷漆是机器人的又一个应用领域。因为机器人可以安全地均匀地喷涂极薄的漆膜，这就明显地节约了油漆的用量。繁重、危险而乏味的机器上下料，也是经常使用机器人的工作领域。在为完成一系列的工序，如机械零件加工和喷漆过程而设置的包括一组机器的自动生产单元中，机器人往往是它的中心环节。汽车、电机、计算机，以至机器人的装配是机器人崭新而有效的应用领域。

在上述应用中，多数机器人是聋、哑、瞎和不动的，所以，使用这些机器人和自动化机器并无多大差别。智能机器人的出现，开辟了机器人全新的应用领域。智能机器人是装备有某些传（递）感（觉）装置，能感知环境变化并作出反应的机器人。机器人学方面的研究表明，赋予机器人以

有视觉的“眼睛”和有触觉的“手指”是完全可以办到的。人工智能是机器人特有的能力，它包括对环境的变化作出反应、适应、理解和决定。例如，在现场使用机器人最重要的问题就是安全，如果一个机器人装备了传感装置就能够探测到人的存在，当它探测到工作区内有人时，将由程序控制自动停止操作。已经成功应用的机器人具有“看”、“听”和“感觉”的能力。传感器的发展以及近年来机器人移动技术的发明，已促使机器人走出工厂，走进桔子园、养牛场或医院等截然不同的环境。

机器人还可以用于家庭娱乐。某些未来派艺术家和某些超前研究者，如美国超等机器人制造公司把机器人看作是移动的消遣品或机器哨兵。另外一些人把它看作可以驱使的奴仆。目前这类应用仍属于初始阶段，但却给未来的机器人制造业以诱人的启迪。由于机器人的创造与应用，我们预计很多新型的工业将会应运而生。这些新型机器人可能应用的范围将主要受到人类想象力和创造力的局限。

这是否意味着机器人能完成所有的工作，人们就没有工作可做了呢？它可以做所有最困难、最危险和最令人厌烦的工作，作为始终不渝的工人，机器人大大优于人类。它们可以每天工作 24 小时，每周工作七天，年复一年永无休止地做下去。但与人类的智能相比，机器人就相形见绌了。迄今发明的机器人中，还没有一个能完成人类做的每一项工作。人具有惊人的适应能力和创造能力；人在一生中，可以学会上千种工作；人还具有一套神秘的智力综合能力和聪颖的意识系统。所以人类的潜在能力是无限的。

另外，人有感觉、感情和生物反应，唯有人可以帮助他人。例如，与通常的说法相反，机器人很可能当不好一个临时保姆，因为孩子所需要的人类情感关怀是它所不能提供的。只要研究一下人类在如何相互帮助方面，就可以作出机器人能否承担人类所有工作的最简明的回答。显然，我们永远也不可能做尽人类要做的所有的事情——对机器人来说更是如此。

2 机器人从哪里来

2.1 人类的梦想

每一种设想和技术都有其孕育发展期，机器人技术也不例外。远在公元前 7~8 千年的新石器时代，人类就开始使用最早的工具在石器上打眼。到公元前 3~4 千年，出现了环形陶器，它是所有现代旋床和立式车床的远祖。公元前二世纪出现了漏壶：水从容器中滴漏出来漂起浮标，浮标在直立的刻盘上指示时辰。它的发明者是亚历山大城的机械师克特西比。在古希腊罗马时期，原始机器人则是以活雕像和各种“神奇”的机器的形态存在：只要往石雕的狮身鹰头张开的大嘴里扔进八枚硬币，“圣水”便会自动从石兽的眼睛里流出来。祭司在庙宇前点燃圣火，庙宇的大门便会按照现代工程师的说法“自动”开启。亚历山大城的赫龙和希腊时代的其他机械师们制作的雕塑，常常成为迷信祭祀的偶像。用现在的说法，模仿或模拟活物的最早的自动机之一，大概是在公元前 400 年左右，由古希腊哲学家柏拉图的朋友创制的。这个人叫阿尔希塔斯，传说他制作的木头鸽子竟然飞起来了。在中国的春秋战国时期，传说鲁班也制作出会飞的木鸟。

对于现代工业机器人祖先们的故事，常常带有浓厚的神话传奇色彩。这与其说是在记载事实，不如说是人类的一种美妙幻想。关于机器人的“可靠”的记载，最初出现在著名的荷马史诗《伊利亚特》里。荷马在这部史诗中描绘了一个黄金做成的女人帮助炼铁神赫淮斯托斯的故事。我们发现这个女人的“后裔”——机器人正在现代工业的锻压生产中起着积极的作用。人类掌握了“水落”和“风吹”造成的动能以后，才真正感觉到了本身能动的机器“助手”的可爱之处，于是开始生产大量的机械。19 世纪创造了人类最忠实的助手，工业生产的伴侣——车床。

其他发明家集中力量研制了模仿人的动作的一种自动机。有些记载流传到我们手里，其可靠性会引起人们的怀疑。例如，有记载说，早在 13 世纪，雷根斯堡市大主教阿尔斯·马格努斯有一个机械“卫士”在其教堂中的卧室门口站岗。这个“卫士”是由蜂蜡、木头、金属以及皮革制成的。传说在大主教没请客人进屋之前，他会向客人致敬，打听客人来意，跟客人开玩笑。有一天，主教的弟子、青年哲学家托马斯·阿奎那向这个“卫士”提出了一些哲学难题，“卫士”答不出来，恼火万分，竟找了根棍子将阿奎那痛打一顿。

传说归传说，到 16 世纪时，装有发条的钟出现了。这个发条传动装置是德国钟表匠海因莱因发明的，钟的内部头一次运用了后来广泛应用于各种自动机的原理和某些机械。此时，还传说供职于西班牙的工程师胡阿涅洛·塔里阿诺，为查理王制造了小巧精致的自动机械——会击剑的玩具士兵和会弹琴的机械牧女。

到了 1675 年，最早的摆钟由荷兰发明家许伊根斯制造出来了。

看到机械师们的成就，思想家们便跑到自动化的田野上来收获丰收的果实了。法国著名哲学家笛卡尔有一个时期迷上了自动玩意儿，甚至还制作出一个取名法尘西那娜的机械女人。1637 年，他写道：“有一天，人类将制造出一帮举止与人一样，但却没有灵魂的机械来。”他最先提出模仿动物的机械设想：丝毫不用奇怪，人类凭艺术能够创造出各种各样的自动机来，但动物身上有众多的骨、肉、动脉、静脉等等器官，这些自动机使用的部件却不多。于是，科学家们就试图将力学的某些规律用来解释发生在动物体中的现象——从机械得到的启示。

17~18 世纪，人们向三个方向作了探索。第一个方向是以天才数学家欧勒和贝努利为代表用力学定律来解释某些生理现象的探索；第二个方向，是以法国医生、哲学家梅特里为代表的，他于 1747 年发表的著名的论文《人是机器》所表现的思索：人是机器，是一种更复杂的机器，如果有足够的条件，人可以用工具制造出这种机器来；第三个方向是机械发明家将头脑里的想法付诸实践。其中法国发明家和工程师服岗松（1709~1782）所制作的一些完美的自动机最为著名。他因此被选进了法兰西科学院。在他的杰作中，有一个牧童会吹笛子。牧童吹笛子的时候，服岗松亲自铃鼓伴奏。这个牧童身高 170 厘米，会吹 12 首曲子。服岗松还制造了另一个玩意儿：一个机械人左手持木笛吹奏，右手击铃鼓。他设计最为完美的是一只鸭子。这只鸭子由上千个自动零件组成，它几乎会做鸭子所有的动作，如凫水、扎猛子、扑打水面、啄食，甚至借助于藏在体内的化学物质完成通常的消化过程。大诗人歌德曾见过这玩意儿，并且记在日记里。1738 年，服岗松将其展览于巴黎。

此时，工业中出现了一些用以制作形状复杂的零件的复杂机械机床。18 世纪 20 年代，俄国发明家研制出能沿着被加工零件移动车刀的自动刀架。他还设计了一种变速齿轮来加工大型螺杆的车床。1765 年，俄国机械师波尔祖诺夫发明了自动保持水位的浮子形锅炉供水控制器。

顺便提一下，第一个“工业机器人”是服岗松制造的机械驴。这个驴能以真正的驴所不具有的优雅动作在普通织布机上织布。为什么做成驴形呢？原来，服岗松 1742 年打算制作一台自动织布机，里昂的纺织工人们知道后，害怕因此失业，便狠狠揍了这个发明家一顿。发明家一生气，便制造了一个能在普通织布机上织布的机械驴。

我们还是来谈谈那些制造人类机械的创造家吧。1774 年，瑞士钟表匠皮埃尔·德罗和他的儿子制造了机械记事器、机械画师和机械女乐师。这些机械人受到了人们的注意，可是，宗教裁判所却指控他们犯了妖术罪，将他们关进了监狱，还没收了这些机械人。一般认为，机器人“antros”这个词是亨利·德罗（皮埃尔·德罗之子）的名和姓的原文头几个字母拼起来的。但这完全是巧合。这个词源于希腊文的“antros”一词，该词表

示“男人”的意思，跟表示“人”的“antropos”一词词根相同，所以，“antros”一词也表示“像人的”这个意思。

机械人，是发条时期的反映。正如伟大的哲学家马克思所说的：“正是钟表的发条使人类产生了把自动机应用到生产上的想法。”

1784年，瓦特设计出蒸汽机的离心调速器，蒸汽从此就成为驱动机床、机器和机械转动的主要能源。现在，机械师们用发动机，他们也会借助各个独立环节构成的传输网络，将轴旋转变换成操作机械的任何一种复杂运动。他们开始制作更多这样的机器，这些机器用它们的机械手能在许多劳动过程中模仿人的各种动作。机械师们也能通过自动机向各种部件传达指令。他们使用的是八音盒磁鼓上的双头螺杆、穿孔的硬纸带和带小凸轮的小轴，这便是自动机的工作程序。但这种程序很原始，是固定的，对外部环境不能做出任何反应。自动机研究者的创造性活动带来了许多好处。这种创造性活动在各地普遍开始转入机器生产——即工业革命，帮助人们找到并在实践中检验发展了机械制造及自动机原理的基本数学手段和技术手段。

技术在昂首阔步地向前走着，在纺织业、金属加工业、采矿业和其他工业部门，到处都在实行机械化。

电的时代来到了。电动机和直流发电机出现之后，电为生产的自动化提供了新的可能性。1830年，俄国科学家希林格发明了磁电式继电器——电动机的主要部件之一。1872年奇科列地在第一届莫斯科综合技术展览会上首次展出了电动缝纫机。1895年，阿波斯托—别尔季切夫斯基和弗赖登贝格制造了世界上第一座电话自动交换台。20世纪初发明了电压调节器之后，电能的生产中便开始大显身手。电动机驱动机床，使自动机获得新生。20世纪30年代，出现了更多组合机器，40年代完备的组合机床自动生产线问世了。40年代末出现了智能增加器（电子计算机）和控制论。这使工业自动化的另一表现——包括工业机器人在内的许多电子自动机的出现成为可能。

这里再强调一下关于假肢器官方面的进步（前面已谈到一些）。假肢器官方面的研究对于现代机器人的发展相当重要。为设计人工肢体，科学家必须研究能使我们运动和工作的人体结构学，这也引导机械设计师们去思考人的胳膊、手和手指是如何配合完成动作的。这方面的例子在前文也举过一些，现在再略举几例。也有人认为，关于假肢的早期事例见于公元前500年Herodotus的记载。他述说了—一个俘虏为挣脱其脚镣，从脚腕处割断自己的脚，而后设计了一只木制的脚来代替的事儿。大约公元前218年的第二次罗迦战争中，一位名叫MarcusSergius的罗马将军失掉了一只右手。据说后来人们为他装了一只铁制假手，打起仗来相当有力。因此，战争的伤残推动人们去发展更为精致的假肢以代替残缺的肢体。16世纪初Gotz VonBerlichingen就用一只可以动作的机械手来取代他在战争中失去

的手。

16 世纪，人们开始研制假肢。这是因为传动与控制机原理的重大发展，达到使用者能够借助于机械手指和拇指，自如地完成诸如抓、握之类的简单动作。本世纪，人们又研制了电力驱动人工手，它借助于来自使用者断肢神经末梢的电脉冲，经放大后传输给假手以驱动其动作。这种人工手在本世纪 60 年代发生那场由于人工服用查里多米德镇静药带来的灾难之前，一直十分兴旺。服用这种镇静药使胎儿畸形，残废者生来肢体不全或萎缩，亦无神经末梢可与标准假肢的电极相联便无法使用假肢。于是，借助于压缩空气驱动内部活塞而动作的假肢应运而生。这类假肢能感应肌肉收缩时的隆起和硬度，其最新成就是应推肌电手臂的产生。此类假肢可由电机或压缩空气驱传，亦可靠拾取传至肌肉内的电脉冲来驱动。其金属线电极要埋入肌肉，用以拾取电动势。当肌肉将要收缩时，电极便拾取此信号并放大，使患者能够用与控制真手一样的脉冲去控制假肢。

在研制人工肢体过程中，研究传动、操纵和控制系统取得的大量成果，对机器人学作出了巨大贡献。这种建造人工手臂的设计构思，后来被用于遥控机械手以及机器人的机械手的设计之中。

2.2 机器人的近代演变

干危险工作和作为玩具用的机器人发展最快，最早使用遥控机械手的一个领域便是搬移放射性物质。本世纪 40 年代，应研究工作需要，建立了保存放射性元素的屏蔽间“热室”，放射性物资置于铅制容器内，可以安全地储存和运输。但在热室内如何搬动这些材料供使用却成了一个难题。因为材料对人体有害，需要用某种无须人类直接接触材料的方法进行搬运，这就导致“主—从”机械手的发展。在这个系统中，处在放射环境中的“从”机械手模拟热室外面的“主”机械手而运动。

第一只主—从机械手是雷·哥茨等人于 1944 年在美国国家实验室中研制的。在这个系统中，热室内外的主—从手之间由机械联结。操作者直接操纵主手，使之运动，从而驱动从手运动。然而，这种机械手联动时，常常只能使从手做出笨拙而困难的动作，因为操作者无法感知从手与障碍物或对象的碰撞。

1946 年，伯格塔按照美国的第一颗原子弹试验计划——曼哈顿计划的要求，改进了雷·哥茨的设计。1949 年，机械手能够反馈信息，取得巨大的进步。这样，从手所承受的撞击力通过反推主手而传递给操作者，使他“感知”手与障碍物的碰撞，从而实施更佳的控制。后来，用电气联结取代机械联结，是机械手又一重大进步。这样用变阻器检验主关节的运动，并将所得的信号传给伺服马达，由马达驱动机械手关节。

机械手的下一个重大进步是有了通讯设备。这种被称为“远程操作器”的装置终于使外层空间遥控机械手出现了。喷气发动机的实验人员根据美国国家宇航局空间实验的需要，在探索制造一种灵巧且通用的机器的过程中，对远程操作器的内容作了巨大的扩展。他们认为，这种机器必须对极远距离提供精确的控制。他们最后制造了一种装置，控制者可借控制器和显示器的帮助对其发布指令。此设备可安装在一个遥远的环境中，有执行指令的致动器和反馈信息的传感器。这种传感器可以是电视机，也可以是有听觉、触觉的东西。人和设备之间的距离可以很近，也可以很远。

美国第一个登上月球和火星的机器就是一种远程传感器，它为宇航员登上月球提供了可靠的球面环境信息。然而，在人类操作者和远程操作器之间传递信息所需的时间滞后却成了一个问题。即使对登月舱而言，时间滞后也显得过长，以致某些本来可以进行的试验也无法完成。纵然是 1.3 秒的滞后也会给操作者带来困难和失控，所以有必要扩充计算机用量。例如让宇宙飞船具备当其陷入绝境时能够自动停止飞行的性能。这就需给遥控装置增设计算机与传感器，从而实现所需要的“现场反射”能力。

我们还是以登月试验中的控制问题为例。如果登月舱即将掉进月球上的一个火山口（月球表面布满火山口），而传达停止指令的时间过长，登月舱就可能来不及止步而陷入火山口。为解决这个问题，加州的喷气发动

机实验室的科学家们为他们的远程操作器设计出“现场反射”或自律反应环节，这在机器人发展史上是一大进步。正如人类行路时所需的反应多来自脊髓神经的现场反射、而非来自大脑一样，今天智能机器人方面的很多工作就是企图在机器中建立这类现场反应（反射）。由于科技的不断进步，进一步增设了声控传感器，使得今天的远程操作进一步发展了，比如，采用了移动底盘、双臂、力反馈、声反馈、立体视觉、计算机控制和声指令等。

总之，早期机械人的操作机构是相当简单的，它们的运动必须由人来控制。后来，在这些操作机构上增添了计算机控制，扩展了它们的功能，计算机成为这类机械人“机身”的“大脑”。计算机和机械手技术的共同发展，最终实现了能满足许多困难工作所需的精确运动。但今天的遥控机械手依然很重要，因为有些工作完全可以自动操作，但有的工作人参与部分操作。另外，对于某些工作很难由人进行全部操作，还需要复杂的控制站。

下面，我们将总结一下机器人学近代史中的重要事件。大家都知道，20世纪40年代，第二次世界大战促成了美国、英国、前苏联等国政府和企业、科研单位前所未有的紧密合作，其成果也令人惊叹。这是历史发展的一个辉煌时期，因为正是这些合作，发明了现代通讯技术、雷达、声纳、汽车、飞机和船舶，或者使它们有了重大进步。更令人惊叹不已的是，计算机和原子弹出现了。

1940~1942年，美国哈佛大学制成了第一个自动控制器。1943~1948年，宾夕法尼亚大学建造了第一台电子计算机。它完全不像今天看到的计算机那么精致，而是装满整整一个房间的硬件，因此它在很多方面的应用极不方便。在这个时候（1948），贝尔电话实验室发明了晶体管。同一年，英国剑桥大学制成第一台可储存程序的计算机。此时把计算机的功能引进机器已成为可能，所以一些著名科学家便设想将计算机的智能同机器的机械功能结合起来。沙能便是这些科学家中的一员。1952年，他发明了一只机械鼠，它可以学会做迷宫游戏。

1952年，美国国际商用机器公司（IBM）的新型计算机问世，宣告了计算机时代的到来。1956年，数控机床出现了。这种机床采取脱机编程方式，用穿孔纸带存储对机床的指令。穿孔带上的指令读入机床后，即可执行程序操作。1959年，美国制造了第一台商品工业机器人，这是一台用凸轮和限位开关控制的提卸装置。1961年，美国又生产了第一台伺服控制工业机器人。同年，塑料及电子方面的工作成就又把假肢技术推进了一步，在美国林肯实验室里，人们把一个装有触觉传感器的远程操作器的从手同一个计算机联接起来。这个早期试图联接计算机和机械手的探讨为后来的机器人的发展铺平了道路。

1963年，美国机器和铸造公司（AMF）制出产业机器人。从这一年开

始，又出现了为机器人配备各种手臂的设计。

在此期间，其他国家（特别是日本）也认识到工业机器人的重要性。从 1968 年开始，日本的机器人制造业取得了惊人的进步。

1969 年，美通用电气（GE）公司为美陆军建造的实验行走车是机器人一项非同凡响的发展。其控制难度实非人力所能及，从而促进了自动控制研究的深入发展。该行走车的四腿装置所要求的为数极多的自由度是控制的主要课题。同年波士顿机械臂出现了。第二年又有斯坦福机械臂问世，后来还装备了摄象机和计算机控制器。而且，随着这些机械被用作机器人的操作机构，机器人学开始取得若干重大进展。1970 年，美国第一次全国性的机器人学术会议召开。1971 年，日本成立工业机器人协会以推动机器人的应用。随后推出第一台计算机控制机器人。它被誉为“未来工具”，即 T₃ 型的机器人，可力举超过 100 磅重的物体，并可追踪在装配线上的工件。

仅美国而言，在短短的二十几年内，机器人的拥有量就从零增加到 6000 台。如小河奔腾汇入大江，机械、电气和工业技术的高度发展与融合，终于形成了现代化的工业机器人群体。由于智能机器人的发展将赋予这类机器更为广泛的通用性和超人的功能，今后机器人的拥有量会以惊人的速度持续增长。科学终于把古人的幻想变为现实。可以有把握地推测，机器人在未来的发展，将超出我们的想象。计算机正在逐年地向小型、新颖和廉价方向发展。随着时间的推移，机器人会不会也走这条路呢？现在，电子学、计算机、控制和能源系统方面的新成果将为机器人的设计提供更为有效的手段。专用机器人在机械工程方面的应用将是永无止境的。机器人将在人类认识自然、改造自然的斗争中发挥巨大的作用。

3 机器人的划界

3.1 工业机器人

灵活的手

第一代机器人，它的伟大之处，是它具有这样的能耐：成功地模拟人的运动能力。比如，它们会拿取、举起、拆除、翻转一些东西，会自己进行这些运动。特别是在现代工业中，它们学会了喷漆、磨削、焊接、切割、包装、打印商标、对物品分类、拣出废品，有的机器人甚至能修剪、绘画、弹竖式钢琴和雕刻某些图象。

它们当然是在向人类学习啦。人手臂上有 52 对筋肉，腿脚上有 62 对筋肉，颈部有 15 条筋肉，因此人能够做出各种极其复杂的动作。仅就手臂而言，人就有 27 个自由度。但模仿人运动的机器人，它们不需要这么多的运动功能。现代的机械手总共有 6~8 个自由度。

每一个工业机器人都由两个主要部分组成：机械手和程控器。机械手完成全部必需的动作，程控器则进行全部必需的控制。前者是机器人的“身躯”和“手”，后者是它的“大脑”。其身躯一般是粗大的基座，或称机架；机器人的手则是多节杠杆机械——机械手。要让手能够作出预先规定的动作，它就要有肌肉——传动机构。肌肉的作用是将大脑发出的信号转换为手的机械动作。机械的手、臂或抓取器的终端是夹具。

大部分工业机器人仅有一只手，但也有的有两三只或更多的手。但其作用几乎相同，重复人或动物的上肢动作或完成其动作。一般说来，机械手是依据三条原则安装设计的。第一条原则——机械模拟人手结构。其关节有：下臂、肘、腕，均是根据轴向或活关节接合原理做成的。机器人的液压或电动筋肉保证这些关节能活动自如，同动物的关节一样；第二条原则是一些专门的杆可做成水平、垂直和角形的各种线性移动动作，这些移动可确保机器人手具有必要的灵活性；第三条原则是将上述两原则结合起来。

设计机器人的手需要解决大量异常复杂的问题。这里并非仅是考虑模仿人手所具有的功能；有时还考虑让机器人去完成人做不来的事儿。比如，工人用手工加工半成品无法精确到一个微米，但机器人却能顺利地完成任务。目前使用的工业机器人具有从几十公斤到三吨以上的起重能力，移动自由度 2~6 个以上，定位准确度 0.05~5 毫米，服务区域范围 0.01~10 立方米。不过，这些性能取的都是平均值。比如英国制造了将 12 吨重的轴辊安装在磨床上的机器人。

机器人要运动就需要使其“筋肉”运动。机器人的气动“筋肉”是由气压传动筒组和气动发动机构成的，气压传动筒组用来创造直线运动，气压发动机组用来创造旋转运动。它们利用特殊的气动阀来控制、调整移动

速度和使活塞停止做功。这种传动机构相当简单。作用于气压传动筒活塞杆上的力取决于压缩空气的压力，借助于专门阀这个作用力很容易控制。气动肌肉的优点是工作中不出现故障，需要的工作面积小（因为传动机构一般都直接位于机械组合件的结合处），造价低，维修容易。

液压传动机构的运动原理同气动机构相类似。不过是使用液体代替压缩空气罢了。液压传动机构的功率更大，它一般用在最有力量的机器人手臂上（举重力达数吨）。但是，它要求的保养条件高，否则一旦发生液体泄漏，就会污染周围环境。

不久以前，电力驱动的机器人数量不是太多；而近来，用电力肌肉的机器人越来越多了。电动驱动提供了启动、停止、转向的优良动力特性，提高了定位精确度（小于一毫米），保证了广泛的机动性。电动传动机构装配和调整容易、方便，维修保护简单，没有噪音。它也用于大多数第二代感觉机器人，这是其优点和实现自调控制算法之间的灵活性决定的。

怎样从机器人的“手相”看出它是干什么职业的呢？很简单。瞧，三钩抓钳，那是吊钩大型铸件用的；吸盘，是吸拿玻璃板用的；铲斗，是装散物质用的；钻头、喷漆枪、自动螺帽扳手……器械直接固定在手上，而不是固定在现在已经不需的夹具中。

人类的双手无所不能，机器人“双手”的终端装置同样也是形形色色的。最流行的是像鸟嘴或蟹螯虫一样的“二趾爪”，它可以完成抓取和移送大多数零件。如果要求更牢固地抓住零件，尤其是圆形零件，就要使用三趾爪；如果零件又粗又长，那就改用多爪抓钩——用几个二趾爪或三趾爪从许多地方同时抓住长管子；输送液体使用斗勺，抓取散体物使用三爪小斗勺；如果零件是很大的平板形的，那就使用类似章鱼身上的吸盘；如果抓取钢件或白铁件，还可以用磁性抓具。如果要抓管型的或空心圆柱体件，则可以用张合的抓爪、特殊的梨状充气器、穿进管子去的小棒子。

除了灵巧之外，机器人的“手”大小也不同：有用以抓取好几吨重的轴辊的大爪子，也有用来同微电子产品和钟表齿轮打交道用的小镊子。有些像胡须一样细的手指需要用显微镜来看，才知道它如何同小小的零件打交道。

总之，机器人的“手”可能模仿一切动物的手、爪，甚至为了美观，有时可能“发育”得更加优雅。但就目前而言，还是仅以实用为主要目的。

学会走路

人们习惯于把机器人所进行的动作分为三类：局部动作、区域动作、总体动作。局部动作——是我们借助于手而进行的各种操作，如抓、放、翻转、插入、取出。区域动作——是运用整条手臂的机械能力来进行的。机器人在基座不动的情况下，将零件从一个地方移到另一个地方。总体动作——是机器人的自身移动。

我们现在来谈谈机器人的整体动作。我们知道，人要整体动作就要有

脚，车子要整体动作也要有“脚”——车轮。机器人要完成总体动作，同样要有“脚”。

给机器人制造脚的历史可以追溯到 19 世纪中叶。俄罗斯数学家切贝绍夫设计出了著名的“百足机器人”。这是由四个希腊字母“λ”形机械结合成的一种机器人。机器人的脚踩到地面时，它就向前平移；脚离开地面，它就在空中沿曲线运动，好像步行者的脚步在空中划出的轨迹。切贝绍夫的后继者使机器人的“脚”模仿人脚或动物蹄爪的动作。前苏联的阿尔托夫斯基在理论上解决了机器人脚的关键性问题。最后，列宁格勒仪表制造研究所的专家们制造出了前苏联最早的步行机器人。这个步行机器人有六只脚，脚上布满了传感器，所以脚在空间的位置以及脚接触平面的情况等数据便能不断地输入机器人的电脑。

“六脚人”走路能快能慢，但始终处于稳定状态。这使四脚机器人保持稳定的问题已变得更加迫切了。美国工程师利斯顿研制的装配着控制器的“四脚马”，在冶金中是能派上用场的，比如，可以将大块的钢坯从热处理车间送到锻压工段和冲压工段。它需要有 300 公斤的起重能力。这个机器人靠自整步电动机驱使脚运动，让脚移动的思维借助于现代化的微机。美国宇宙勘探国家管理局为勘察月球表面积，积极研制八脚和六脚运输机械：四只或三只脚用来保持平衡，其余的四只或三只脚用来移动身体。这些机械的外形好像两个联结在一块儿的立着的手提箱。每一个手提箱里都有一个发动机和一些四只脚的铰链机构，迈步时两条腿膝盖朝前，而另外两条腿膝盖朝后，跟动物走路的动作完全一样。此外，较著名的四脚机器人有以下两种：美国通用电器公司制造的运输机械和模仿马的动作的马格结构。

但也有人将目光转向了两脚机器人。如通用电器公司制造的运输模型；日本早稻田大学伊藤博士正在研制的仿人步行两脚机器人。在这个类人步行机器人身上，采用了专门研制的人造筋肉：这些筋肉是一些柔韧的橡皮软管，这些橡皮软管联结成一些不大的嘟噜，分成三组。处于通常的松弛状态时，这些筋肉无力地垂着。要让筋肉绷紧，只要向里注放压缩空气，这三组筋肉便鼓成圆球。筋肉收缩时，附在筋肉上的腿、脚骨骼就会举起来迈步。

现在，许多国家制造了各种各样的机器人，特别是会步行的机器人。不过，他们的步姿却千姿百态，大异于人类。人在狂奔时忽然被一个东西拦住，将会被绊倒；而目前的机器人，无论什么时候都处于平衡状态。它们如此稳定，以致于不太灵活。而要让两脚机器人真正成为步行者，却又要帮助它们解决不稳定的问题。美国麻省理工学院的一批研究者正致力于解决这一问题。他们研制出了独立的能跳跃的自控腿。这条腿还装备了微型电子计算机和电源。它的唯一“关节”是膝盖。“脚掌”是一个十字架，十字架可以使脚不歪倒。这条 1.5 米的腿能站立、伸直、朝前迈进并重新

抬起来。研究者们想使它朝任意方向跳跃移动。目前，独腿机器人正处于训练阶段。它的计算机自己编制程序，用试验和失误的方法编制出最佳的跳跃方式。脚通过不断发生失误并“记住”自己的失误从而取得经验，步子便会越来越稳。有时它的坚韧不拔很令人感动：它开始是躺在地板上，然后站立起来，缓缓前倾，做好准备跳跃的姿势。随后“脚掌”一蹬，跳了起来，落地后站立不稳，受到惯性吸引，又向前倾斜，这时它又做好了朝前跳跃的准备。

按规定程序行动

人的手是十分灵巧的。轻、重、冷、热它都可以感觉到并做出相应的动作。为什么呢？就保持身体的平衡而言，内耳前庭发挥了重要的作用。但机器人没有内耳前庭，它怎么会保持平衡呢？如果拿起薄薄的灯泡或精巧的微电子产品，机械手会轻拿轻放吗？

机械手的操作性能是多方面的，动作也特别多。机器人要拿起处于不同距离和不同高度的零件或装配完毕的部件，拐弯抹角地避开障碍物，穿过一些狭窄的孔洞，把一些零件固定在机床、夹子和炉底的需要位置上。机器人需要在生产环节中经常变化的情形下，快速地转来转去。“这有什么呢？给机器造成强壮的身体就是干这些活儿的嘛”，也许有人会这么说。但在机器人学家看来，这是个复杂的“心理学”问题。也就是说，除了一定的力量属性外，机器人应当便于控制，它们的筋肉能准确地完成“大脑”发出的指令：放松、收缩、用力。这样，这些筋肉产生的作用力应恰到好处：既能举起物品，又不会弄碎诸如灯泡、电子显象管和微型组件之类的易碎品。如此，就要求机器人的动力传动装置，必须首先是万能而可控的。

人们通过观察自己得到了启发。机器人与人有相似之处。工业机器人是作为能够完成人的某些功能的机器而出现在生产中的。首先，它的任务或者是按照事先规定的路线运送零件和半成品，或者是把零件和半成品从一个指定的空间点运到另一个指定的空间点。观察人在把手伸到一个确定位置的类似动作，可以将这种动作分解成两个主要阶段：动态阶段——动作快速向目标靠近；静态阶段——急剧减速和更准确地协调方向，通常这种协调伴随着小幅度的摆动动作。运动方向是在不间断的视觉监督和运动学监督下进行的，而最终结果却以触觉与听觉来检验。

第一代现代化工业机器人进行操作时具有上述两个阶段，不过在稳定阶段没有像人在接近端点时的那种搜索摆动动作。这种目标位置坐标要严格固定和准确复制，操作对象应准确地置于程序所规定的位置，并且处于机器人能够拿起的状态。因为第一代机器人是“瞎子”，不会反馈。象“起身”、“闭合直至接触”或“迈右脚”这样的一些指令，每个指令本身就是一套程序。然后，需要把这些指令变成有关筋肉的气脉冲或电脉冲，再由气、电脉冲变成相应的位移、角度和转矩。这一切都是极其精确地完成的。第一代的现代工业机器人定位精度可以达到 0.1 毫米。它们达到这个

水平的发展过程是困难的，因为操作者是信息的唯一来源，就像瞎子的向导。如果信息作为工作程序输入机器人的存储器中，机器人便在自动工作状态下完成指定的任务，不需要外界再补充信息了。那么，编制并向机器人存储器中输入程序有几种基本方法呢？

第一，可以把动作程序划分成一些单独的指令和镜头，计算好后，将程序输入机器人的存储器中。第二，可以通过按电钮或摇手柄的方法，从操作台上用手控制机器人“示范地”完成一次任务。第三，抓着机器人的机械手，领着它经过轨迹上所有必须经过的点，教会机器人需要做的动作。按照第一种原理设计的程序，很像电子计算机的程序。不过，电子计算机的数据地址和数字运算、逻辑运算指令换成空间点“地址”和“操作工序”指令，如：手向右（左）转，伸出——收回，举起——放下，打开夹具——夹紧，手向左右转动，等等。程序就是这样一套指令，并周期地完成必要的次数。按照第二种原理进行训练，是“实时程序设计”。操作人借助于机器人控制台上的手柄和按钮，迫使机器人完成这些或那些动作。这些动作统统存入机器人的存储器中，需要重新做多少次就重新做多少次。第三种训练方法有点像训练小孩。有经验的焊接工人可以拿着固定在机器人手上的焊枪教机器人沿焊缝的最佳线进行焊接。机器人把动作存储在存储器里，兴致勃勃地干起来。受过训练的机器人在大脑控制下独立工作，因为动作程序已经存在它的存储器里了。

最简单的机器人运用循环控制系统。动作是“从支点到支点”来实现的。这种控制系统的程序携带者是布满插头的特殊磁鼓。需要重复动作的时候，磁鼓就转过来，插头接通传动装置，传动装置就“开动”整个系统。这种控制系统叫做“位置式”。位置式的控制系统是凭借磁带录音机，全部的电磁脉冲都录在磁头上。这些脉冲发出传动，机器人的手便沿着规定的路线活动。

但上述方法中的第一种，是机器人程序设计的“先进”方法，编制机器人的程序像编制电子计算机的程序一样。问题在于机器人这种程序编制可以交给另一个电子计算机来进行。如果编制程序是“批量生产”的话，这样做效益是相当高的。

真有能耐

第一代机器人能做点什么呢？这个问题看起来不怎么好回答，实际上却又是一个比较容易找到答案的问题。

第一代机器人具有经济效益，其应用范围是十分广阔的。它们能卓有成效地照看机床、熔炉、冲床、生产线、焊机、铸造机等。它们还能有效地安装、运输、包装、焊接、装配、加工（热加工、机械加工）产品，在机械制造业和冶金业中的应用尤为广泛。

现在大概没有任何一个工业生产部门没有用过机器人的。一经使用它们，该行业定会声名大震。不过，第一代机器人在汽车工业中的使用量是

最多的。如前苏联的伏尔加汽车厂、利哈乔夫汽车厂、列宁共青团汽车厂，不仅使用机器人，而且还自己制造工业机器人和全套自动化设备。欧洲的非亚特公司，从 1973 年开始从事研究在焊接作业中使用机器人的问题——焊接 132 型汽车车体。由于使用机器人证明经济效益显著，1975 年建成 131 型汽车的焊接生产线。试验结果表明，使用机器人进行焊接的废品率大大低于通常的万能焊机。不过，使用机器人要求装配准备阶段的工作相当精确。车体在“定位焊”之后，立即通过自动检验处进行检验。在 131 型汽车车体制造完成工段，有 23 个“尤尼梅特”型焊接机器人，它们一小时内，在 50 个汽车车体上完成 620 个焊接点，也就是说每个机器人一小时完成一个工人一个班内的工作量。装配四个门或两个门的车体是在一个传送线上完成的。这是唯一更换程序的地方。如果在一条传送线上进行两三种不同形状的车体的生产，机器人必须具备相应的能力。但是，在非亚特公司暂时还没有这种机器人。

这条焊接生产线的 23 个机器人中有两个起初是备用的。以便工作机器人中有哪个损坏不能使用时好替换。这两台机器人都编制了按任何一种程序进行工作的程序。

公司的专家们认为，机器人的平均效率达到 94%，而“多枪焊接”自动机的效率为 80% 左右。虽然后者在单位时间内的工作效率比机器人高，但当它们出现故障时，整条流水线便会中断。而某个机器人受损停止工作时，流水线却照样能继续工作，因为退出工作的机器人的工作可以由旁边的机器人承担。

非亚特公司的专家们进一步指出，“尤尼梅特”型机器人具有非常高的可靠性。在整个五年的使用期限内没有更换过一台机器人。不过这里必须强调一下，不更换的条件之一是因为对机器人的保修好。机器人程序的可编性，使公司的产品能够迅速适应市场的变化。公司进一步注意到使用机器人了的好处。到 1976 年时，公司已使用 90 个机器人，其中 23 个用于焊接，67 个基本上用于机械运输。为扩大机器人的使用范围，进行了成对使用机器人进行焊接的试验。其中一个机器人把待焊接的钢板拼在一起，另一个机器人急忙进行点焊。

在日本，各大汽车垄断企业也广泛地使用工业机器人。在美国，通用动力公司使用机器人制造飞机机身，通用电力公司则用机器人生产冰箱。这种机器人也用于原子工业中，它们跟放射性材料打交道，使人摆脱了这种危险的工作。

在前苏联，机器人还有一个十分古怪的工作，比如烤面包。莫斯科第十面包厂就使用机器人烤面包。……车间里“黑面包河”旁边是“鲍罗季诺”面包河，再远一点是“奥廖尔”面包河，在成为三条面包“河”发源地”的车间里安装了一个自动化综合体，这个综合体为另一条面包河——“新乌克兰”面包河奠定了基础，机器人在这里找到了自己的第一个工

作岗位。这个机器人跟自动化综合体一样，是同一个单位研制的。我们来看它如何干活吧。操作员检查烤炉里的温度，仪表显示：热烘机组做好了接受包模的准备。接通起动器，复杂的自动化综合体的众多部件便运转起来。喷油嘴便将乳状油液喷在包模上。继电器“啪”地响了一声，面包模传送带立即停下。机器人好像在等待这个瞬间。它用 14 秒钟装填和好的面，然后发出启动传送带的指令。接着将称好的面包填进新的面包模里，然后向传送带再一次发出指令。两个小时后，从烤炉中送出来了第一批“机器人”面包。运用机器人带来了显著的经济效益：在同样的生产面积上，面包的产量一昼夜可以增加 10 吨；降低了植物油的消耗，劳动条件也得到了改善。

总之，机器人正逐渐地走进我们的生活，还有些活儿，也是机器人干的，我们还没有全说到呢！但这里由于篇幅有限，我们就不说了。但也许有人会问：“这些铁家伙这么能干，难道就没有它们干不了的事情么？”——当然有！要么人们为什么要去发展第二、第三代机器人呢？。

3.2 感觉机器人

后生强于先生

随着科学技术的飞速发展，机器人技术也发生了巨大的变化，在短短的一段时间，其基本部件就发生了重大变化，出现了新的功能，扩大了使用范围，改变了使用特点。我们说，第二代机器人出现了：有感觉的机器人。

它的前一代机器人，即工业机器人，是程序控制机器人。它们是按照人们预先硬性编制好的程序去完成操作的，其工作条件是严格的、固定的。尽管应用广泛，工作有效，但却是“笨蛋”加“瞎子”。它们仅仅能完成有关指令，不能应付意外情况，不管是发生了微小故障还是厂房倒塌，房顶砸到它们头上时，它们还是不会躲开或停止工作，依然照着老样子干活。但有“感觉”的机器人出现以后，机器人的能力就不再那么有限了。这种感觉机器人便是第二代机器人。

比如，工业机器人的机械系统，实际上常常在机器人手臂自身重量、被移动的物件的重量和在运动过程中产生的惯性负载的重的作用下，发生精确度降低的变形。机器人手臂的承压部件甚至在传动装置相当准确地停止的条件下，由于机械系统变形也要经受强烈的动力惯性负载。惯性负载造成的变形会导致不断衰减的机械振动，这种机械振动会降低准确度并增加定位本身的时间。这种变形在运动量和运动方向的变化加速时（手臂起动开始和手臂起动结束，制动开始和制动结束）尤其剧烈。

为了减少这个现象的有害后果，必须采取机应的措施：减少手臂的重量和长度，增加加强筋（它好像是附加的“骨骼架”），安上限速止推轴承，等等。不过，还必须要考虑温度变形。所以配有位置控制系统和1.5~2米手臂的现代机器人（“尤尼梅特型”），其定位精度达到一毫米看来已是最大可能了。然而，这在某些情况下是不够的。“感觉”机器人利用另外的控制原理，可以用新方式来解决这一问题。这样既有了更高的精确度，又省了钱。

又如，第一代机器人有其公认的缺陷——惊人的不变性、一致性。如果生产过程中一旦发生哪怕是最微小的变化（如电压下降或零件从传送带上掉下来），第一代机器人便会在这种操作小事面前显得束手无策。它顶多会停下来，张开大手，好像局外人似的看热闹。最糟糕的是它会继续工作，挥动着空手，根本不知道它的努力是在白费劲。它不会适应周围变化的情况。因此为使工作成功，周围的情况不得不去适应机器人。这就出现了这样的问题：机器人为生产服务还是生产为机器人服务？所以，为了使机器人为生产服务，第二代机器人出现了。它不仅仅是像电子计算机一代替换一代的那种自然更替，而且是由于生活所迫，即它要在急剧复杂化的生产环境中“争取生存”的条件。这样，就涉及到了提高机器人智能水平

的问题，因为它们第一代家族“明智”，没有提出更高的要求。实际上，它们的智能并不比低级昆虫高。想象一下，汽车装配线上出现了一些倾斜，机器人并没有觉察到这个误差。它们事先被调整好在汽车车门上钻眼，可是这时它们却把孔钻到油箱上。制品位置的不对，丝毫没有使机器人“不安”。此外，假如它们的电子管线路一旦出现某种毛病，自动机会“盲目狂怒地”用它强壮的钢爪胡乱敲打。这样，就出现了完全不同的一些问题。代替人去干有害和危险的工作——这是事情的一个方面，有时这本身又会给人造成危险——这是事情的另一个方面。

怎样才能制服不听话的“铁奴隶”呢？让机器人通人性，不伤害人（比如监督它干活的工人、维修它的机械师），已经成了一个迫切需要解决的问题。为确保使用机器人的车间里人的安全，人们采取了各种手段：在机器人工作区内的地板上设置有弹力的踏板，或者与断路器联在一起的隔墙，隔墙一打开就会发出“停止”指令，用光线围住机器人工作区。还有一种机器人，当人出现在工作区时，它就停止不动。这种机器人已经不是“瞎字”，但还是不会“看东西”，它有的是“感觉”。第一代机器人的身上就已出现了最简单的感觉：如果在夹具的指头之间被指定的地方没有需要的零件，机器便会停止不动。这时全部的感觉只是：“有——没有”。对情况的最简单适应能保障机器人最大的动作能力，它只要一触及物品，便有感觉，甚至能识别零件的尺寸和重量，并用相应的动作移动零件。此外，具有各种感觉的机器人比第一代机器人更安全、方便、准确。它们还具有许多特殊的优点。它能操作形状尺过经常变化、方位不确定的工件，或者是操作正在传送带上移动的零件。它能感觉到作用力，比如感觉到螺钉往圆孔中拧入的力，否则，圆孔或螺丝势必被拧坏。

一句话，第二代机器人能干一些第一代机器人连“做梦”（假如它会做梦的话）也梦不到的事。

跟着感觉走

人的感觉有5种：视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉。有时，敏感的人还有更多的“感觉”。但是人的感觉器官是十分有限的，生物界的感觉元件才丰富多彩哩。象海豚有声响视觉系统，蝙蝠有超声波测位器，蛇有热视能，某些动物有静电场、电磁场、热能场、紫外线磁场和在其他磁场中识别方位的能力。比如，狗的嗅觉灵得出奇，老鼠能听见超声波，蛇对振动敏感，等等。

现代感觉机器人借用了人和生物界的一些东西，加上人类的发明，拥有了不少敏感元件。它的这些敏感元件叫传感器，分为两大类：内部的和外部的。前一类用来监督机器人自身的动作，这类传感器安装在操作机器的传动装置里。后一类用来监督工业机器人操作的那些物体的情况，借助这类传感器确定零件、半成品和成品部件的位置、形状及其它特征。内部信息传感器——机器人的独特的自我监督器，用来确定位置、转动角度、

速度以及手、臂、肩和其它机械的力矩。如果机器人的控制是在“接通——断开”原理的限制开关基础上进行的话，那么这种限制开关本身就成了这样的内部传感器：将机器人的手摆放在开关生效的位置上。如果情况太复杂，就运用反馈随动机构——电位计、自动同步机、分解器、模拟数字转换器，等等。

机器人手的状态传感器大都配置成这样：能将各种各样的位移变为电脉冲。这些“神经”脉冲就会使机器人“有感觉”。机器人传感器有多种：电磁传感器、电容传感器、感应传感器、阻力传感器（电阻）、光电传感器。比如，电位计是在改变转角情况下，在线绕电阻或薄膜电阻改变的基础上进行工作的。电位计的可靠性由于有触点，一般都不高，最大使用期限在 200 万转左右。在自动同步机结构中运用的是变压器的工作原理。初级线圈用单相电压，次级线圈内产生感应的电压决定于旋转角。自动同步机作为基于电磁感应的无接触装置，具有高度可靠性、抗扰性。不过，自动同步机的准确性以半个度数值为界限。

分解器是在自动同步机之后研制出来的，原理相同。但是，分解器的定子和转子上各缠有两组线圈，彼此移成 90° 。因此，分解器的准确性高于自动同步机。感应传感器的构造跟自动同步机一样，这样的传感器精度为一个毫米左右。

模拟数字转换器被当作脉冲发生器来使用。光电发生器连接回转轴的电阻片有透明和不透明两个部分。它使用电子管或其他元件为光源，而自记元件则是用光电晶体管、氦元件和其他装置。有许多计算型的传感器，其中编码片的传导和绝缘部件机相当于 1 和 0 的值。接点的存在决定了它的使用寿命受到一定限制。也有许多其他的传感器。比如，象电动机一般的积分速度传感器、磁性电表等。机器人的这些自我监督传感器大多数早就应用在第一代机器人的身上。到第二代机器人时，这些内在的“感觉”变得丰富多彩了。不过，第二代机器人感觉器官发展的重点还是集中在外部。最简单和最通行的外部信息传感器是“接触”传感器——工业机器人的触觉。在夹具——机器人手的末端装有专门开关，这些开关记录跟零件或机床接触的情况，并以脉冲输入“大脑”。安装在机器人夹具里侧和外侧（上、下、左、右）的 10 个这种开关帮助机器人用“手摸”方式判定零件的位置或是出现障碍的位置。

然而，要判断手接触的物体的重量和坚固程度，需要设计另一种传感器。这种传感器是置于金属薄板间的导电泡沫聚氨脂层。薄板的间隔根据压力而变化，并且适当改变电路电阻。具有压力反馈的手的握力控制机构能防止物体和人造手受到损伤。

传感器中光电传感器、电磁传感器、超声传感器、射流传感器等无接触传感器尤其方便，因为不直接接触用不着担心会造成对物体的碰撞或接触不良。此外，这样的传感器预先“感觉”到物体，它们在接触之前已能

判明物体。这是机器人独特的视觉“习性”。

电磁传感器在几毫米至几厘米距离内起作用。它是通过磁场或电阻效应起作用的，其感觉具有高精度和可靠性的特点。当然，只有在操作金属物时才有用。

光电传感器太像视觉了。如果使用灯泡和光电二极管作光源，用光电管、光电二极管和光电晶体管作光接收器，可以用物体对光流的阻断或从物体折射回来的光脉冲来发现零件并确定其位置。这个并不复杂的“眼睛”由两个透镜组成，这两个透镜的焦距已调在几十毫米外的一个点上。在这个点没有显示任何平面以前，光电二极管便收不到光敏二极管的信号。为使传感器对外界的爆光不产生反应，光敏二极管射出的是固定频率的光线，光电二极管也调到这个频率上。

超声传感器是由信号传感器和接收器组成的一个系统。借助于反射回来的声响信号，可以发现物体并测出离该物体的距离，它们的优点是：能发现透明的物体（含非金属物体）；振荡器可无限期作用；在无光、有干扰条件下读数；灰尘、蒸汽对它们无影响；可以在水下工作。其工作原理是利用脉冲反射信号的时间测出物体和夹具的距离。它除了测量距离外，还能解决更复杂的问题，如将夹具的轴线对准物体的轴线。遗憾的是，它只有用显微镜才看得见物体，有时看不见，因为超声波的长度比较大。

还有一种传感器，可用来做无接触开关器。其方法是把气流充当光束使用。这样，能够测量出大约超出喷嘴直径 50 倍的距离，这就是射流传感器。

以上所述的传感器只是传感器中的一个小部分，因为传感器太多太多。机器人也是根据工作需要来配备相应的传感器的。有些工作仅用触觉就可以了，但在有的工作中却必须要有“视觉”；另一些工作，则需要气动传感器的“柔和的气流”；有时，则需要用红外测位器。机器人就是这样，装备有形形色色的传感器来传递感觉。例如有一个机器人的夹具——两个手指，上面安有一系列的触觉传感器。这些传感器是一些有弹性的金属薄片。传感器以“鱼鳞状”组合排列，将手指表面全覆盖了。每个指头的表面排列着 12 个这样的传感器。所以，指头表面任何位置的接触都会导致传感器动片相应的接触，于是，接触点的信息数据便会传递给机器人控制系统。除了触觉接触传感器之外，夹具指头上还排列着 12 个光线测位传感器，这些传感器能在夹具距离物体 2~3 厘米的时候发出接近的信号。这些传感器位于指头的尖端、侧面、端面。由于光线测位传感器的工作是基于发现物体折射回的光流，所以为了消除外界光亮对传感器的影响，便采用了特殊方式对光流的强度进行了调整。机器人在工作过程中，不仅必须得到有关接近或触及物体的信息，而且还要得到有关指头间物体的信息。为此，指头里侧的表面还置放着四个光电传感器。这些光电传感器不是靠折射回来的光工作，而是靠光线直接透过指头空间来工作。它们监督夹具

虎口间是否存在物体，同时，还能根据截断光线射来的数量来判断出物体的大体存在位置。这种敏感的感觉赋予第二代机器人从未有过的寻找物体、轻柔地操作零件，以及装配各种复杂结构的能力。

机器人的眼睛

人类通过眼睛来接受很多信息，然后通过视觉神经传递给大脑；由大脑进行工作，最后就“看到”了东西。看到这里，也许有些读者马上就会问：“机器人又是怎样‘看到’东西的？它们又没有脑袋！”

其实，机器人用不着把眼睛安在脑袋上，比如说，我们可以把机器人的眼睛安在它的“手掌”上。这是很有意思的。比如说吧，对于焊接机器人来说，它的工作是把金属零件安放在不同的位置上。如果它的手掌上长上“眼睛”，那么，机器人就会看见，该在什么地方焊，应该怎样焊了。目前，在一般的巧克力糖果厂，女工们坐在工作台的后面，运送糖块盒的流水线在它们面前缓缓移动。女工们每秒钟往盒里装两块糖。现在计划在流水线旁边安装两个不大的机械手和一台电视摄象机。摄象机告知这两个机械手如何运用它们的“手指”包装巧克力糖。在这种情况下，机械手便具备了某种萌芽状态的“视觉”。不过这工作是极其简单的——黑色的巧克力糖块是放在浅色的背景上的。如果对这个机器人说：“请你去拿一束白色的百合花来。”它就束手无策了。

我们知道，要在任何金属装置上配上视觉是几乎不可能的。然而，计算机技术的发展，却使一切都成为可能了。机器人视频系统的研制工作是从电视摄象机的出现开始的。物体的图象变成成千上万个点，然后这些点又构成了电视图象。这些黑白两色的点以二进制码数字信息形成输入控制机器人的电子计算机。数字1代表黑点，数字0代表白点。物体的图象在计算机的电子存储器中被变换成了一组0和1数字。现在，计算机能够“看见”东西了，也就是说，它能将数字代码图示同存储器中的数字组进行比较了；机器人能够“认出”东西了，也就是说，能确定这个东西属于什么类的了。在0变成1的地方，计算机标出物体的轮廓和方位，然后，计算机立即将它们的许多特征计算出来，比如：面积、周长、直径等，并将它们跟计算机存储器里的物体特征进行比较。电子计算机在其存储器中找到了类似的数字组以后，机器人才能认出眼前所见的究竟是什么东西。机器人用电子语言说声“好啦”，便向自己的“手指”发出对物体进行必要操作的指令，比如，抓住物体的边缘啦，把物体翻过去啦。

机器人有个缺点，它分辨不出灰颜色的许多细微差别来，所以必须用颜色差别大的光亮来使它辨别。但装在输送带上移动的制品怎么办呢？目前，科学家们正在研制更加完善的系统，这些系统能分辨色度的许多细微差别。如正在制造借助所谓“灰度等级”形成的仪表；具有仪表上所载等级的计算机，就能分辨最细微的变化（指亮度），并能准确地识别物体。不过，这个系统太复杂了，即使对功率较大的计算机而言，识别物体所需

的时间也是很长的。这样，具有“视觉”系统的未来既取决于计算机技术的继续进步，也取决于能否制造出更好的识别装置来。然而，要使机器人的“眼睛”也能像人的眼睛那样有效，它应该依靠计算机的智能，这种计算机的运算速度要比现代任何计算机都百万倍。虽然某些人并不认为这是幻想，特别是考虑到电子学令人目眩的进步的时候。甚至计算技术的现状也允许作出十分乐观的预测。归根结底，机器人的“视力”就是在今天也比人强得多，因为人的眼睛只能接收电磁波谱的光学部分。而相应的电子装置却不像生物那样受限制，可以使它对红外线和紫外线都灵敏。如果把雷达和声纳跟电眼联在一起，它便能在黑暗中或者在熔炉中的超亮度的光线下像望远镜或显微镜似的看东西，能判定很快或很慢的流程。那时，人的视力“做梦也想不到”的东西将变为可能。

东京大学的感觉机器人试验正在进行。人们给机器人配备“电视机上的视力”，这使它能十分精确地确定物件的坐标。以微机为基础控制器把工作区坐标系统换算成机械手坐标系统，编制出对机械手传动机构的控制作用来。控制是在所谓实时内完成的。例如，一个小球正在工作场地中滚动着，机器人会把它抓起来，干净利索地放入在输送带上移动的小杯中。为了减轻机器人眼睛对所有物体进行目视监督的负担，机器人眼睛所监督的铁杯，机器人夹具都涂上了鲜明的白色，跟灰色的背景形成强烈的对比。

一丝不苟的检测员

因为第二代机器人有了极强的“感觉”能力，它们就又可以干一些新活儿了，比如说检验。这个检验员工作可耐心了，特别是它们中间的熟练者——所谓的检测中心。它们配备了触觉——精细的感觉手指系统，沿着被测量物体表面移动时，能向机器人脑传递关于被摸曲线的全部尺寸和参数极其精确的信息。用触摸这种方式检验物体，可以既快又准确地检验出任何奇形怪状的东西形状与尺寸。

它的构成情况如何呢？这样的机器人通常具有笨重的机座和雄伟的龙门式结构。笨重的机座可以避免对测量的精度产生影响的振动和其他干扰，龙门式的结构可以比较理想地接触零件的各个点。它还有测量插座，每个可接大约五个朝各个方向伸出的触头。测量的结果输入计算机，电子计算机运算后在显示器的荧光屏上显示给使用者。此外，大量的专用程序使机器人具有多种功能。这些专用程序包含专用几何计算程序、公差和余量计算程序、设计数控机床自身零件的自动设计程序，等等。

这个检验中心的自动化特征是灵活性。它能设计进行任何形状和尺寸零件的操作程序，能提供检测所要求的精度和允许的速度，能告知被测零件的所有偏差，甚至能根据刀具位置的调整来控制数控程序的机床。运用这个检测中心，可以使这项作业从几天缩短到几小时。不过，除触摸外，它还有别的方法进行检查。例如，有个汽车制造厂建立了一个这样的机器人系统：它能“嗅出”新造汽车车体上是否有孔洞。工人们向汽车中压入

少量氦气，机器人则将传感器顺着一定路线移动，可以捕捉到任何漏气的现象，出现漏气现象可能是由于缝隙焊接不好或是汽车的门窗关闭不严。这是现代工艺和最新的即将问世的工艺条件下能做到的最完善的检验。以前进行这种精确的工作，传送带总是需要在机器人的面前停下来，车体也需处于一定位置。这个工厂用一种新方法解决了这个问题：把一个老式传送带用现代的方法改造了，一些专门装置固定汽车的精度能达到 1.5 毫米。这样，机器人第一次应用于不断移动的传送带上，并被“迫使”非常精确地进行操作。

另外，感觉工业机器人又增加了一种新本领：品尝自来水并进行分析。如在柏林，安装了好几台这样的机器人，它们定时从供水管中取出水样进行品尝，几秒钟内得出分析结果，并立即通知自来水公司的调度室。

那么，有感觉的机器人还可以干什么呢？前面我们曾经谈过，第一代机器人不会拿起杂堆的毛坯，除非将这些毛坯按顺序摆放好。如此，则需手工进行整理，降低了劳动生产率的总水平。此外，在为此使用的带网状的特殊容器中，容器一般只能摆一层，这样就需要扩大容器和仓库的容量。若能使机器人识别生产零件，那该有多好啊！请看法国的一家公司是如何解决这个问题的吧。他们进行了如下实验：挑选汽车悬架零件的坯料——一些形状复杂的铸件，经验表明，任何这样的零件在工作台上只能有五种放置方式，而且荧光屏显示说明，每种放置状态占据着不同的面积；得到这些图像之后，根据物体所占面积的大小，计算机立即就能“辨认出”零件放置方式；然后，计算机拿取了那个相应的零件。所以，我们说，第二代机器人具有更强的智能。其表现为：第一，在很广泛的范围内，在不降低工作精度和质量的前提下，完成它“出生”时就具备的功能；第二，它在任何情况下都在最有利、最佳状态下完成工作。我们还可以来看焊接部门的例子。第一代机器人按照固定的程序来操作，焊接起来比人快得多，但它不会改变工程规程。如果运来等待焊接的零件厚度有了些变化，机器人由于缺少相应的感受元件，就干脆“不知道”这些变化。因此，操作速度增加了，但产品质量却下降了。但第二代机器人却不会犯这样的错误。第二代机器人焊接时，借助于专门装置检查零件，估算零件外部参数的变化，然后自动调整到保证最高质量的焊接工作规程。具有检验员专门技能的另一个机器人检验“焊工”的工作。二者互相配合，效果良好。工艺规程的“弱点”在受到强烈干扰时，便将暴露出来。比如，电路电压改变时，产品质量将明显下降，会出现废品——这是相对第一代机器人而言的。第二代机器人能“排除”这种干扰。不过，为此它配有预先警告出现这样或者那样偏差的传感器，配有处理所获信息和改变工作规程的逻辑装置。

还有一个出现废品、甚至造成工艺流程中断的根源——系统出现故障。发生故障的系统有时会变得十分不听话，变得很危险，甚至可引起事故发生。设立并联备用系统可以减少这种危险，专门逻辑装置发现故障后

接通备用系统。

人们为了进一步发展机器人事业；为了研究采用机器人进行安装的程序，使用了装有超声传感器夹具的机器人。这个简易的超声“视力”使机器人能看见工作台上的零件，能自动将夹具移向零件，将夹具对准零件的中心线以便拿起来，根据零件的特征尺寸确定零件类型，正确将其夹起。看，这是它的工作过程：机器人发现了工作台上依次出现的一组零件。它十分麻利地拿起其中的一个零件，根据夹具夹零件所用的宽度，“认出”该零件的类型，将它安装在正在装配的组合件上，或者将它放在中间的存储器里，以便根据装配程序，在需要时能顺手拿起这类零件。至于有关信息，如装配顺序、零件尺寸标准、工作区“固定”点坐标——所有这些都用电位计提供并记录下来。这种机器人是用来研究能轻易改编程序设计的简单装配自动机工作流程的。

因此，第二代电子机械机器人日益普及。为了让它们尽快适应各种操作，在用标准部件组装它们的同时，还为它们装备了一套万能装置。法国的索美尔公司的工程技术人员还提出了一个无线电电子工业使用的独特结构。这个结构是八个不同用途的嵌入式插头，由存储在计算机中的程序确定这些插头是否接通并协同动作。可以用这个结构把一些小零件装配成产品，这些小零件以毫米为单位，重量只有一克的几分之几。总之，第二代机器人装备了功率如此大的感觉传感器组和相应的计算机，在性能上大大优于第一代机器人。他们能操作形状不熟悉的任何零件，能从事装配和安装操作，能收集不熟悉的和变化着的环境信息。尽管如此，它们不会在所有领域都把第一代机器人换下来。一、二代机器人是“父子”关系，两代“人”互相配合，将组成一个十分灵活的系统，使生产领域的绝大部分的手工操作实现自动化。这是它们对人类的巨大贡献。

控制原理

有些读者会问：“第二代机器人是如何进行控制的呢？”是的，这是一个很重要的问题。人的手在触及灼热的东西时，会本能地缩回去；而智能远远不及人类的机器人，它会这样做吗？我们知道，随便一个机械手，在工作过程中是由传感器来适应千变万化的环境的。因此，这种适应也是千姿百态的，归根到底，它们的控制原理是什么呢？

感觉机器人的控制是建立在反馈原理之上的，这也是控制论最基本的原理。第一代机器人的控制是一种单向联系，机器人作用于操作的客体，并没有反馈有关信息；第二代机器人由于具有感觉便具有反馈的本事，操作的客体也“作用”于机器人。感觉机器人的控制规律是机器人的当前状态和外界状态的功能。感觉机器人的控制系统解决了前一代没有解决的新问题：处理和分析来自人造感觉器官的信息，并根据这些信息动用反馈原理控制执行任务的传动机构。这里所描述的反馈控制略图很像非生物和生物共有的属性——比如说动物的条件反射的略图。举个例子说，如果你天

天把碗往地上一放，然后离开，让狗吃从碗里倒出的饭的话，过了一段时间，狗便养成了一种习惯，或者说是一种反射——一见你把碗往地上放，就兴冲冲地跑来“吃饭”。如果这个例子还说不清楚，请再看一例：老鼠被猫追得满屋跑，吓破了胆。有一天老鼠正在睡懒觉，一只猫坐在它身边看着它；老鼠做了一个梦，醒来，猛然看见了身边的猫，顿时吓得两腿直打罗嗦，飞也似地逃走了。这两例说的就是动物条件反射的事，它们通过刺激养成了这种反射。生物和非生物的这种共性，是控制论的基本原理之一。我们也可以把这一原理用来发展机器人的能力：一部分通过感觉器官进入机器人“大脑”的外界感觉信号，可看作是跟无条件刺激类似的信号。比方说，这就是有关机器人应与之“打交道”的零件存在的信号。另一部分信号是“有条件刺激物”，比如，一定的听觉信号、视觉信号和其他信息信号。

训练机器人是把无条件刺激物和有条件刺激物按一定方式结合起来进行的。（在这里必须向读者说明，感觉机器人不是生来就有知识的，它仅仅具有依靠自身感官进行学习的能力），某种反应由此便相应地建立起来了。这样，内部反射联系“情况——反应”便形成了。这种联系在机器人对外界及对它自身跟外界相互作用的能力的认识方面起作用，仅仅是起作用，而不是这种认识本身。训练机器人，也就是使它形成“情况——反应”的全部联系，并由人来进行。我们所说的情况，就是感觉系统形成的全部信号的含义。各种类型的情况具有共同的特点，引起相同的反应，这样正确选出的反应称为跟情况等同的反应。感觉机器人控制系统的结构和作用有三个步骤。第一步是对情况的识别和分析。反应的计划编制取决于情况属于哪类，机器人是否对这种情况进行等同的“思索”；第二步在输入端获得所期望的反应，并且形成相应的程序动作和做出计划——根据可能出现的障碍和限制，制定出所期望的改变操作机构坐标的规则；第三步是保证实现所选择的动作。如此，“情况——反应”控制结构使感觉机器人能灵活地使自己的行为适应正在形成的（有时变化剧烈的）环境。但是，这种“反应”联系的范围只是那样一些动作，即只是那些一开始就为其规定好了的、有条件刺激物或无条件刺激物的动作。对于复杂的情况和复杂的感觉而形成的动作，是另一种独立的、复杂的问题。

对于答案非一一对应的问题（有多种算法和多种结果），是不可能运用这个规则系统中的“情况——反应”进行联系的。

3.3 智能机器人

有了智能

我们从广泛意义上理解所谓的智能机器人，它给人的最深刻的印象是一个独特的进行自我控制的“活物”。其实，这个自控“活物”的主要器官并没有像真正的人那样微妙而复杂。

智能机器人具备形形色色的内部信息传感器和外部信息传感器，如视觉、听觉、触觉、嗅觉。除具有感受器外，它还有效应器，作为作用于周围环境的手段。这就是筋肉，或称自整步电动机，它们使手、脚、长鼻子、触角等动起来。

智能机器人之所以叫智能机器人，这是因为它有相当发达的“大脑”。在脑中起作用的是中央计算机，这种计算机跟操作它的人有直接的联系。最主要的是，这样的计算机可以进行按目的安排的动作。正因为这样，我们才说这种机器人才是真正的机器人，尽管它们的外表可能有所不同。

我们称这种机器人为自控机器人，以便使它同前面谈到的机器人区分开来。它是控制论产生的结果，控制论主张这样的事实：生命和非生命有目的的行为在很多方面是一致的。正像一个智能机器人制造者所说的，机器人是一种系统的功能描述，这种系统过去只能从生命细胞生长的结果中得到，现在它们已经成了我们自己能够制造的东西了。

智能机器人能够理解人类语言，用人类语言同操作者对话，在它自身的“意识”中单独形成了一种使它得以“生存”的外界环境——实际情况的详尽模式。它能分析出现的情况，能调整自己的动作以达到操作者所提出的全部要求，能拟定所希望的动作，并在信息不充分的情况下和环境迅速变化的条件下完成这些动作。当然，要它和我们人类思维一模一样，这是不可能办到的。不过，仍然有人试图建立计算机能够理解的某种“微观世界”。比如维诺格勒在麻省理工学院人工智能实验室里制作的机器人。这个机器人试图完全学会玩积木：积木的排列、移动和几何图案结构，达到一个小孩子的程度。这个机器人能独自行走和拿起一定的物品，能“看到”东西并分析看到的東西，能服从指令并用人类语言回答问题。更重要的是它具有“理解”能力。为此，有人曾经在一次人工智能学术会议上说过，不到十年，我们把电子计算机的智力提高了 10^6 倍；如维诺格勒所指出的，计算机具有明显的人工智能成分。

不过，尽管机器人人工智能取得了显著的成绩，控制论专家们认为它可以具备的智能水平的极限并未达到。问题不光在于计算机的运算速度不够和感觉传感器种类少，而且在于其他方面，如缺乏编制机器人理智行为程序的设计思想。你想，现在甚至连人在解决最普通的问题时的思维过程都没有破译，人类的智能会如何呢——这种认识过程进展十分缓慢，又怎能掌握规律让计算机“思维”速度快点呢？因此，没有认识人类自己这个

问题成了机器人发展道路上的绊脚石。制造“生活”在具有不固定性环境中的智能机器人这一课题，近年来使人们对发生在生物系统、动物和人类大脑中的认识和自我认识过程进行了深刻研究。结果就出现了等级自适应系统说，这种学说正在有效地发展着。作为组织智能机器人进行符合目的的行为的理论基础，我们的大脑是怎样控制我们的身体呢？纯粹从机械学观点来粗略估算，我们的身体也具有两百多个自由度。当我们在进行写字、走路、跑步、游泳、弹钢琴这些复杂动作的时候，大脑究竟是怎样对每一块肌肉发号施令的呢？大脑怎么能在最短的时间内处理完这么多的信息呢？我们的大脑根本没有参与这些活动。大脑——我们的中心信息处理机“不屑于”去管这个。它根本不去监督我们身体的各个运动部位，动作的详细设计是在比大脑皮层低得多的水平上进行的。这很像用高级语言进行程序设计一样，只要指出“间隔为一的从1~20的一组数字”，机器人自己会将这组指令输入详细规定的操作系统。最明显的就是，“一接触到热的物体就把手缩回来”这类最明显的指令甚至在大脑还没有意识到的时候就已经发出了。

把一个大任务在几个皮层之间进行分配，这比控制器官给构成系统的每个要素规定必要动作的严格集中的分配合算、经济、有效。在解决重大问题的时候，这样集中化的大脑就会显得过于复杂，不仅脑颅，甚至连人的整个身体都容纳不下。在完成这样或那样的一些复杂动作时，我们通常将其分解成一系列的普遍的小动作（如起来、坐下、迈右脚、迈左脚）。教给小孩各种各样的动作可归结为在小孩的“存储器”中形成并巩固相应的小动作。同样的道理，知觉过程也是如此组织起来的。感性形象——这是听觉、视觉或触觉脉冲的固定序列或组合（马、人），或者是序列和组合二者兼而有之。

学习能力是复杂生物系统中组织控制的另一个普遍原则，是对先前并不知道、在相当广泛范围内发生变化的生活环境的适应能力。这种适应能力不仅是整个机体所固有的，而且是机体的单个器官、甚至功能所固有的，这种能力在同一个问题应该解决多次的情况下是不可替代的。可见，适应能力这种现象，在整个生物界的合乎目的的行为中起着极其重要的作用。本世纪初，动物学家桑戴克进行了下面的动物试验。先设计一个带有三个小平台的T形迷宫，试验动物位于字母T底点上的小平台上，诱饵位于字母T横梁两头的小平台上。这个动物只可能做出以下两种选择，即跑到岔口后，它可以转向左边或右边的小平台。但是，在通向诱饵的路上埋伏着使它不愉快的东西：走廊两侧装着电极，电压以某种固定频率输进这些电极之中，于是跑着经过这些电极的动物便受到疼痛的刺激——外界发出惩罚信号。而另一边平台上等着动物的诱饵则是外界奖励的信号。实验中，如果一边走廊的刺激概率大大超过另一走廊中的刺激概率，那么，动物自然会适应外界情况：反复跑几次以后，动物朝刺激概率低、痛苦少的那边

走廊跑去。桑戴克作试验最多的是老鼠。如老鼠就更快地选择比较安全的路线，并且在惩罚相差不大的情况下自信地选择一条比较安全的路线，其它作试验的动物是带着不同程度的自适应性来体现这一点的，不过，这种能力是参加试验的各种动物都具有的。

控制机器人的问题在于模拟动物运动和人的适应能力。建立机器人控制的等级——首先是在机器人的各个等级水平上和子系统之间实行知觉功能、信息处理功能和控制功能的分配。第三代机器人具有大规模处理能力，在这种情况下信息的处理和控制的完全统一算法，实际上是低效的，甚至是不中用的。所以，等级自适应结构的出现首先是为了提高机器人控制的质量，也就是降低不定性水平，增加动作的快速性。为了发挥各个等级和子系统的作用，必须使信息量大大减少。因此算法的各司其职使人们可以在不定性大大减少的情况下来完成任务。

总之，智能的发达是第三代机器人的一个重要特征。人们根据机器人的智力水平决定其所属的机器人代别。有的人甚至依此将机器人分为以下几类：受控机器人——“零代”机器人，不具备任何智力性能，是由人来掌握操纵的机械手；可以训练的机器人——第一代机器人，拥有存储器，由人操作，动作的计划和程序由人指定，它只是记住（接受训练的能力）和再现出来；感觉机器人——机器人记住人安排的计划后，再依据外界这样或那样的数据（反馈）算出动作的具体程序；智能机器人——人指定目标后，机器人独自编制操作计划，依据实际情况确定动作程序，然后把动作变为操作机构的运动。因此，它有广泛的感觉系统、智能、模拟装置（周围情况及自身——机器人的意识和自我意识）。

怎样变聪明的

人工智能专家指出：计算机不仅应该去做人类指定它做的事，还应该独自以最佳方式去解决许多事情。比如说，核算电费或从事银行业务的普通计算机的全部程序就是准确无误地完成指令表，而某些科研中心的计算机却会“思考”问题。前者运转迅速，但绝无智能；后者储存了比较复杂的程序，计算机里塞满了信息，能模仿人类的许多能力（在某些情况下甚至超过我们人的能力）。

为了研究这个问题，许多科学家都曾耗尽了自己一生的心血。如第二次世界大战期间，英国数学家图灵发明了一种机器，这种机器成了现代机器人的鼻祖。这是一种破译敌方通讯的系统。后来，图灵用整个一生去幻想制造出一种会学习、有智能的机器。而在1945年10月的普林斯顿，另一位著名的数字家冯·奈曼却设计了一个被称为“人工大脑”的东西。他和自己的学生都是心理学和神经学的狂热迷恋者，为了制造人类行为的数学模拟机，他们遭受了多次失败，最后失去了制造“人工智能”可能性的信心。早期的计算装置过于笨重，部件尺寸太大，使得冯·奈曼无法解决如何用这些部件来代替极小极小的神经细胞这样一个难题，因为当时人类

的大脑被看作是某种相互联系的神经元编织成的东西，所以就可以把它想象成某种计算装置，其中循环的不是能量，而是信息。科学家们想到，如果接受这样的对比的话，为什么不能发明出一种使信息通过以后产生智能的系统呢？

于是他们提出了人工思维的各种理论。比如，物理学家马克便提出了企图使机器人用二进位或二进位逻辑元件进行思维的方法。这个方法被大家认为是非常简便的方法。1956年科学家们召开了第一届大型研讨会，许多专家学者主张采用“人工智能”这个术语作为研究对象的名称。两位不出名的研究者——内维尔和西蒙提出了不同凡响的设想。他们研究了两个人借助于信号装置和按钮系统进行交际的方式。这个系统要把这两个人的行为分解为一系列简单动作和逻辑动作。因为在这两个研究者的工作地点装有两台大型计算机，所以他们俩常把自己的试验从脚到头倒着进行消遣取乐：把简单的逻辑规则输入计算机，使它养成进行复杂推理的能力。这真是一个天才的想法；计算机程序不仅进行工作，而且靠它帮助，发现了一个新定理，这个定理证明完全出乎意料之外，而且比以前所有的证明还要优美得多。内维尔和西蒙发现了一个奠定性的原则，即赋予机器人智能用不着非得弄懂人类大脑不可。需要研究的不是我们的大脑是怎样工作，而是它做些什么；需要分析人的行为，研究人的行为获得知识的过程，而不需要探究神经网络的理论。简单地讲，应着重的是心理学，而不是生理学。

从此，研究者便开始沿着上述方向前进。不过，他们还一直在争论这样的问题：用什么方式使计算机“思维”。

有一派研究者以逻辑学为研究点，试图把推理过程分为一系列的逻辑判断。计算机从一个判断进到另一个判断，得出合乎逻辑的结论。象众所周知的三段论一样：“所有的动物都会死掉；小刺猬是动物，因此，小刺猬也会死掉。”计算机能否获得幼童一样的智力水平呢？关于这个问题，科学家们有两种相反的见解。伯克利的哲学教师德赖弗斯带头激烈反对“人工智能派”。他说人工智能派的理论是炼金术。他认为，任何时候也无法将人的思维进行程序设计，因为有一个最简单不过的道理：人是连同自己的肉体一起来认识世界的，人不仅仅由智能构成。

他进一步举例：计算机也许懂得饭店是什么意思，但它绝不会懂得得客人是否用脚吃饭，不懂得服务小姐是飞到桌边，还是爬到脚边；总之，计算机永远也不会有足够的知识来认识世界。但麻省理工学院的研究员明斯基却不同意德赖弗斯的观点，他认为机器人的智能是无限的。他对“人工智能”的解释是：这是一门科学，它使机器去做这样一种事情，如果这种事情由人来做的话，就会被认为是有智力的行为。明斯基同时是一位物理学家、数学家，还对心理学、社会学、神经学都有所研究。他指出，人工智能是心理学的一个新门类，这个门类用实验的方法，以计算机为手段

模拟人类思维的本性。他认为自己所研究的计算机，是一门全新的科学；当然机器并不是人，它永远没有人的那种快乐或是痛苦的情感体验，只是热衷于掌握纯粹的知识。举个例子来说吧，人可以给计算机输入“水”的概念：水是一种液体，表面是平的；如果从一个容器倒入另一个容器里，其数量不变；水可以从有洞的容器里漏出来，能弄湿衣服，等等。但是，它获得有关水的最一般的信息之后，就尽力回答一个很重要的问题：“如果将盛满水的玻璃杯倾斜，那会怎样呢？”计算机在它的荧光屏上显示出了一只倾斜到水平位置的玻璃杯，尽管计算机知道引力定律，但它还是固执地在荧光屏上显示：玻璃杯歪倒了，可液体就是不外流。计算机永远不会从痛苦的、但却是有经验的经验中体验到那种衣服被弄湿的人所感受到的不快心情。

所以有一个名叫申克的心理学家正领导一批学者从事这个令人感兴趣的课题的研究：让计算机学会阅读和概括读物内容，回答有关问题；让计算机学会几种人类语言，并互相翻译；让计算机学会对话、学习论证艺术、背单词……

与人对话

美国耶鲁大学曾经设计了一台这样的计算机：它的存储器里没有保存预先准备好的固定说法，它自行编制答话，会论证，会“思考”，某种程度上有点像人。靠着心理学和信息论，科学家为自己提出了一个令世人惊异不已的课题：把人的思维方式和行为研究清楚，然后去人工模拟它。

谈到“人工智能”这个词的时候，我们马上会把它跟一些非真实的东西联在一起。这个词的出现，令许多人提心吊胆：机器人和人一样了，那人类将何去何从！有的人在拼命捍卫着人类自身的最后一个堡垒，使其免遭机器人的伤害、侵犯。问题之所以复杂还在于这个词至今还没有形成统一的定义。明斯基说：“这是一门科学，它使机器人去做这样一种事情，这种事情如果由人去做的话，就会被认为是有智能的行为。”这类俏皮的定义用处不大，有时简直会把研究者引到实用形式主义的沼泽中去。另一个叫图灵的研究者提出了人工智能的测试方法：如果人类猜不出计算机跟他谈话时将表述何种内容——不知道它要说什么，那么，这台计算机已经达到了人的智能水平。他的这一番高论曾经引起了轰动，给学术界添了不少忙乱。为了排除计算机言语问题，这样的对话最好是利用电传机进行。

对于许多控制专家来说，为达到图灵所说的水平，进行了大量的工作。数不清的各种各样的电子交谈者纷纷问世。

60年代末，美国控制论专家、麻省理工学院教师魏森鲍姆编成了几个程序，其主要目的是满足图灵的测试条件——把吹毛求疵的技术专家搞糊涂。这种做法的基础是似是而非的对话。在进行这种对话时，交谈者只是看起来像是在交谈。“交谈者”实际上不去考虑交谈对方所说的意思，而是把听到的东西作些并不复杂的形式上的改变，组成自己的答话。请看：

研究者说：“朋友建议我到您这儿来，他说这多少可使我快乐些。”

计算机吃惊地问道：“您的朋友建议您到这儿来？”

研究者说：“他说我总是郁郁不乐。”

计算机说：“您郁郁不乐，我很遗憾。”

详尽研究了无聊空洞的沙龙对话之后，魏森鲍姆发明了他那富有魅力的“机器人女士”。他发现他的某些同胞能在毫无兴趣的情况下应付对方谈话，而且他们的对话仍能很好地进行下去。这个机器人女士继承了这一能力，能在问话中找到关键词语，然后组成一些公式化的令人感到恰当的答案。看得出，这位“女士”是有些智能。但实际上，她的智能有限，只是善于伪装罢了。“女士”的头脑十分简单，在人说出来的话语中，一些固定的关键词语迫使它产生反应，提出一些固定的语句来。比如，当人说“你不知道某某”时，“女士”便会答道：“为什么您认为我不知道呢？”她能说会道，但只不过是一个沙龙里闲聊的能手罢了。

科尔比在斯坦福大学编制了另一种计算机程序，它与上述“女士”不同。它的任务是帮助刚刚开始工作的精神病医生获得某些同重病患者交谈的经验。这个程序模拟的是患迫害狂的病人。程序中存储了一定的履历情况：佩里，28岁，未婚，在邮局工作；他极其脆弱，对涉及他的外貌、教育和信仰等所有问题都敏感；他的爱好是看电影和赛马；有一次，他竟朝赛马场赌注登记员猛扑过去，因为那个人没付给他赢得的彩金；从此，他便开始惧怕黑社会的报复。交谈中，佩里的情绪经常变化。如果谈话主持人经常地触及到佩里的“痛处”，佩里便开始激动，出现妄想狂症状。下面是他们的对话：

医生：“您怕黑社会吗？”

佩里：“黑手党是最可怕的暴徒。”

医生：“您跟黑手党有什么联系吗？”

佩里：“您没看到吗，他们知道我。”

医生：“他们怎么会知道你？”

佩里：“他们在监视我。”

医生：“为什么？”

佩里：“他们想罗织罪名把我打入监狱。”

医生：“他们为什么要害您？”

佩里：“他们想置我于死地。”

医生：“为什么呢？”

佩里：“我掌握着黑手党的罪证。”

一群精神病医生被安排通过电传机跟一个真病人和佩里同时进行交谈，虽然他们知道其中一个交谈者是计算机，但猜不出究竟哪个是计算机。这样，图灵测试法便开始发生作用了。后来发生了更加有趣的事，先前魏森鲍姆制作了一个模拟精神病医生医治某些神经功能失调症的机器人；后

来产生了用这个机器人来治佩里的想法，这是它们之间的对话：

医生：“您好，请说说您哪儿不舒服？”

佩里：“我有时生别人的气。”

医生：“我不太理解您说的意思。”

佩里：“您应该注意听些。”

医生：“请继续说吧。”

佩里：“我曾经去过贝—梅多乌斯赛马场。”

医生：“您去干什么？”

佩里：“我去赛马了。”

医生：“您还想讨论什么？”

佩里：“我对赛马感兴趣。”

医生：“您为什么要说这些呢？”

佩里：“那里赛马赌博时捣鬼。”

医生：“我不太明白您的意思。”

佩里：“您真是个令人讨厌的人！”

医生：“您喜欢把我看作是个真正令人讨厌的人吗？”

佩里：“我听腻了。”

医生：“为什么？”

佩里：“再见！”

医生：“认识您十分高兴。您应交付 399 美元 25 美分。”

这就是它们的对话，交谈得不错，尽管医生有些“瞎蒙”。程序员准备逐步完善“佩里”的程序，以便年轻的医生们能在对话过程中“治愈”这个人造病人。到那时，大学生们便可以通过跟计算机交谈来学习，免去面对真正的精神病人时因医术不熟练造成的痛苦。

教会机器人去抓住这样或那样的实质更为重要。跟计算机谈话有两种类型：有限的交谈和有限的理解。在有限的交谈中，机器人“理解”它所交谈的全部内容，不过只是涉及到确定话题的情形下，比方说，下棋或摆积木。在有限的理解时，可以同它随意交谈，但是它却远远不能全部理解你的话。魏森鲍姆编制的机器人“女士”这个程序正属于此类。“女士”只能表面上理解事件和现象。不过，随着控制对话理论和实践的发展，机器人的言语变得越来越能表达意思了。图灵测试法开始经常性地生效了。

美国的一家电子计算机公司的副董事长，阴差阳错，接受了一次图灵标准测试。从此，这个标准的地位开始下降了。因为控制专家们由此发现，它也不是检验计算机智能极限的最佳标准。

最佳标准是什么呢？怎样的智能水平才够称得上是真正的“智能”机器人呢？这又成了摆在智能科学家面前的一个新问题。

机器人教给你

计算机事业的发展是建立在许多科学研究者“异想天开”的主观设想

和辛勤劳动的客观实践的基础之上的。前面已经说过，一些学者在研制控制对话原理，做出了不少贡献。此时，另一些实践家和实用主义者则努力将机器人的这种新能力套在科技进步的大车上，他们决心让机器人具备具体的领域中的某些知识。

我们知道，计算机所获得的全部信息因素被一个相互依赖的复杂系统联系在一起。计算机比起逻辑推理来，更经常地采用类比和判断的方法，它将这些要素进行归类、合并和综合，渐渐地发展了自己的“思维”能力。现在我们来回顾一下机器人在这个发展过程中的一些历史性事件。

最初一批这样的计算机诞生于 50 年代末。它们证明了约 40 个定理，并且能解答象“建造儿童金字塔”一类的简单小问题。到 60 年代，人们已经能够同计算机谈论天气之类的话题了，因为这些计算机了解气象学，并具备正确造句所必需的句法知识。比如，如果对它说：“我不喜欢夏天下雨。”它会彬彬有礼地回答：“是的，不过夏天并不经常下雨。”此外，还有一个叫“棒球”的程序能解答与本年度比赛有关的所有问题：比赛地点、比分、参赛队的人员情况。而“谈谈”程序，它已经开始对交谈者的家庭关系感兴趣了，尽管它确实对此一无所知。只是到了 1965 年，机器人“先生”才开始更多地注意词义，而不仅是单词在句中的排列顺序。计算机“学生”也是这种类型的，像一个学习成绩优秀的学生，能解答一次方程，能用流利的英语叙述解方程的顺序。

输入计算机中的知识专业化程度越高，计算机掌握它们的可能性就越大。现在，有些计算机已成了真正的“技术顾问”。比如，它们已经在协助专家们去确定哪个地层矿产丰富；协助专家们作出有关传染病的诊断。要制造出这样的“专家”来，必须把人——专家的知识，传授给它们。然而，不管令人多么难以置信，主要困难仍在于怎样把这些知识从人的大脑中“全掏”出来。比如，医生作出诊断时，根据经验，遵守一些规则。这些规则，他几乎是在下意识地、机械地加以运用的。研究者们花费了好多时间去采访医生和其他专家，以便弄清楚他们思维过程所固有的基本规律。只要能将他们思维的全部过程还原，那么，再把它复制于计算机程序中，这相对来说就不复杂了。从 1965 年开始，计算机中的第一个“专家”便由法伊根鲍姆在斯坦福制成了。它一出生，就自告奋勇地帮助化学家确定物质的分子结构；另一个技术顾问“探矿者”，工作起来更是严谨。它详细地研究地质图和土壤样图，以便确定存在的矿床。它居然在华盛顿州发现了一座蕴藏丰富的钼矿。

而计算机“医生”，它的程序编制于 70 年代。它在得知诊断结果和主要症状后，能对传染病作出诊断。最精彩的是，如果应用人要求它解释作出这样诊断的理由的话，那么它任何时候都能说明作出这种诊断的理由是这个，而不是另一个。匹兹堡大学的一位计算机专家波乌普尔和内科专家迈尔斯还设计了计算机“科达”的程序，这个计算机在其存储器中存储着

比一个医生在任何情况下所记住的更多的病症。它可以把事实、评定和判断结合起来作高难的诊断。计算机竟然学会了诊断？对的，不信，请看下面的实例：

有一天，人们给这台计算机输入了一个中年人的详细病情。当时，这个中年人脸色难看之极，呼吸困难，被救护车送到了医院。迈尔斯初诊为心脏病发作。而计算机注意到了该病人的病情——胸廓不感到疼痛，以前发作心脏病时，血压正常，病历中有关于糖尿病的记载，计算机先考虑了十多种疾病的症状，否定了这些假设的疾病。然后，在荧光屏上显示出主要诊断结果，几分钟后，计算机得出确诊：病人是心脏病发作。而医生要作出同样的确诊则需要几天的时间。在某些复杂和异常情况下，它作出的确诊比私人医生的确诊更为正确、更为细心。所以迈尔斯医生认为，计算机几乎总是愿意同有足够时间的医学专家研究患者的每一种病症。例如，进行过附加测试以后，“科达”就可以成为医生们的普通参谋，它甚至可以降低医疗费，因为根据计算机提出的问题，医生指定病人去化验的次数将会减少。

现在这样的“专家”队伍已经扩大了。长此下去，它们定将儿孙满堂。例如，正在研制的电子计算机，会翻译，会辨别书面语和口语，会指出错误，会学习，会改正错误。总之，未来的“专家系统”所涉足的领域将越来越广泛，从天上到地下，从古代到现代——真正做到“天上知三分，地上全知道”（虽有点夸张，但符合它发展的方向和人们的愿望）。

4 机器人在今天

4.1 购置机器人合算吗

通过前面的介绍，大家对机器人有了一些了解。不过，您也许会问：购买机器人合不合算呢？下面，我们就来回答这个问题。

我们先进行与此有关的经济分析。不难想象，机器人发展初期，需要在一个未曾实践过的新技术领域里大量投资，因此它的价格很高。然而，现在许多机器人已经得到了成功的应用，从而导致机器人厂家能够生产更多更便宜的机器人。诚然，购买机器人仍然是一笔可观的投资，但它已不再是一种未经检验的不可靠的生产方法了。因而更多的企业家正准备在机器人方面进行投资。现在让我们来分析机器人的经济性问题。

一台工业机器人的价格比一幢房子要低些。据美国机器人工业协会全球产品目录统计，达到工业使用要求的机器人标价为 14,000~150,000 美元。因此，一台机器人是在个人或集团支付能力之内的。人们出于什么动机购买机器人呢？是买一台还是几台？如何做出正确的判断？什么条件会使投资者对购置机器人产生兴趣呢？

机器人的价格范围大约可以从 36 美元的玩具机械手到价值一亿美元的航天飞机机械手。最便宜的计算机控制机器人是价值 300 美元的“海龟”。高精度工业机器人约值 50,000 美元。这个价格范围说明机器人确实是在人们支付能力之内的。可是，我们要机器人干什么呢？我们的许多孩子对父母说，他（她）想要一个机器人为他（她）去赚钱，他（她）好去买自己想要的玩具。他（她）还想把机器人带回家，同自己一起玩。毫无疑问，我们都希望机器人为我们赚钱，我们才能买到我们想要的东西。机器人怎么会赚钱呢？你看，它能像人一样，生产商品和提供服务。我们已经讨论了机器人能做的几种工作——焊接、喷漆、工件抓放和装配等。机器人能制造什么呢？

美国机器人学课程中有一个练习，要求学生去设计一个生产计算机的单个机器人系统。这个计划的动机是，如果一台机器人能把计算机部件组装在一起，那么每个学生就能得到一台相当于计算机部件造价的计算机了，这大约是一般计算机零售价的 40%。三个月以后，学生们提出了各种装配计算机的机器人系统设计方案。其中最好的一个设计，整体大小如饭桌。机器人和传感器的价格大约是 5000 美元，用它装配一台小型单板机大约要五分钟。每天运行 24 小时，在理论上这个机器人装配系统每天能生产 288 台计算机，即一年生产 105,120 台计算机。如此计划实现，即使是最大的大学，也可为每个学生和教职工提供一台计算机。与购买整个系统比较，即使每台计算机只节省 100 美元，这个机器人装配系统每年就可以节约 1,051,200 美元。用 50,000 美元的投资换回 100 万美元的价值，这

当然是相当有吸引力的。诚然，学生们没有时间去建造他们所设计的系统，但是工业界却在真正进行着类似的练习。许多卓越的设计者们可能正考虑如何用机器人去赚钱，而我们在此之前，是不会知道他们的努力的。

在美国，机器人的工业所有制是目前最经济的实际占有方式。从现在看来，短时间内不会发生对现存的自由企业制度的偏离。公司占有生产资料，有经验的设计师和熟练的技术工人制造我们所需要的各种商品。国内外厂商之间的竞争是异常激烈的。作为消费者，我们会从竞争中获利；作为竞争者，则必须运用最佳手段，以保持竞争的有利地位。机器人就是一个非常有力的手段。

由于在多变的情况下执行多变的任务，需要柔性的、可编程的自动化机械，因而对机器人的需求也随之增长。应用工业机器人的实际好处，已经使许多企业家对机器人的作用表示满意，如生产力的提高、产品质量的改进、对通货膨胀的抑制、对产品更新换代的适应能力、工伤事故的减少、生产过程的连续性和库存的更好控制等。然而，除富有的大企业以外，与人工劳动力价格相比，机器人的价格常常使很多人踌躇不前，于是劳动力价格随之上涨。现在，相对来说，机器人不显得那么贵了。

决定购置机器人的另一个非常重要的考虑是，机器人系统能否提高生产率。机器人可以从几个方面达到这个目的。它们能提高生产率，提高产品质量，维持生产持续性的质量。如在弧焊等某些应用场合，生产率提高百分之几百。和人不一样，机器人不会在工作中感到疲劳、厌烦和疏忽大意。当人疲倦时会在工作中发生失误，造成返工或废品。这种损失机器人几乎可以全部避免。机器人系统可以上千次无故障运行，以完全相同的方式，制造出完全相同的工件。因为一台机器人通常能做 3~5 人的工作，在某些特定的工艺中，机器人还可以节省其他劳动力的费用。与此同时也节省了其他费用，如照明费和暖气费等，而这对保证以人进行工作的环境却是必要的。同时，安全保障费用也节省了，诸如，节省了为达到高危险作业的管理标准而必须付出的费用。如果在机器人系统程序编制中确定每小时生产一定数量的零件，那么除机器故障外，实际生产的零件就一定是确定的。通常，由主要制造厂家生产的机器人故障率是很低的。许多机器人的设计已经达到平均 500 小时无故障，而无需过高的维护保养费用。

再一个重要考虑是机器人硬件、软件和动力源的类型。在前面我们已经提过这些类型，现在概括地回顾一下：机器人的机械手可根据应用的需要灵活设计，大多数工业机器人的机械手坐标数为 2~6 个。广泛应用的四种机器人是根据机械手的几何形态划分的，即直角坐标式、柱坐标式、球坐标式和关节式。每种不同的应用都要求设计一个终端执行器来完成确定的任务，有卡爪钻头、磁力吸盘、喷枪、焊枪或其他类型。尽管标准的焊枪、喷枪和卡爪对机器人很有用，有些特殊任务仍需使用者自己制造终端执行器。机器人动力源可以是液压、气动或电动的。液压机一般适于搬运

较重的材料，以及要求灵巧并有复位要求的场合；载运较轻材料而又要求快速运动的场合，气动机器人更为适用；只要有效负载不过大，电动机器人也可以达到很高的重复定位精度。当前发展趋势（特别是系统包括很多传感器附件时）表明，需要人们参与和调整机器人的很多运用，如弧焊，需要一个装配有示教板的操作控制站、键盘和 CRT 显示装置。

另一个考虑是计算机软件。控制软件与机器人控制系统一起提供，但使机器人在工厂中和其他机器人、设备协调工作的控制软件，却需要使用者自己编制。软件的复杂性和价格，与机器人系统的应用情况有关。最简单的软件可以是一个机器人单元的控制软件，最复杂的软件则可能是包括整个机器人通讯系统接口和计算机分层控制的软件包。无论是伺服还是非伺服控制，需要的软件类型也受机器人操作类型的影响。伺服机器人完成点到点、连续路径和可控路径的操作，非伺服机器人仅限于简单的材料搬运和传送的操作。今天生产和适用的多数机器人属于伺服类。

使用者还需考虑哪些应用是机器人最适用的。前面我们曾提到机器人系统中最适用的范围，现在让我们来回顾一下机器人应用最广泛的领域：点焊、弧焊、货运集装、货物集散、冲压、上下料、钻孔、喷漆、夹持传送热工件、装配、机床工件装卸、注塑、压模铸造、蜡模造型及铸造、去毛刺、磨削、铣削、胶粘、持取搬运有毒、危险、笨重物品。这个清单决非详尽无遗，但都是实践证明行之有效的应用领域，可供顾客和使用者参考。无论大型或小型的工艺操作，长期稳定和小批量的生产，使用机器人都是有利可图的。无论是在单一工作单元中，还是在与其他设备联结的集成应用系统中，机器人都可以是独立的。一个特定的工厂必须对机器人应用的好处认真进行估计，在估价中，一般应该回答好各方面的问题。

在这样的基础上，人们一般都会得出比较一致的认识：使用机器人是大有好处的。

上面我们已经作了有关机器人的经济分析方面的一些内容的介绍，下面，我们进一步介绍科学家、经济学家对机器人的经济论证。

购置机器人可能有各种原因。机器人能够持续稳定运行，从而提高生产率是一个重要的考虑。仅这一因素即可表明，使用机器人是恰当的。

改进产品质量是使用机器人的又一原因。机器人运行的稳定性可以保持产品质量的一致性。与改进质量有关的问题，还有废品率的降低和操作中废弃材料量的降低。例如在喷漆工艺中，较好的稳定性表现为喷涂材料厚度甚为均匀，因为喷涂层厚度仅有 $1/4$ 英寸。涂层超过 2% 英寸才可能为操作工人察觉，这意味着需要用双倍涂料。一个食品制造商安装了一台设备，以测量一磅一包的乳酪份量。由于严格控制了乳酪的份量使之不超过规定的限度，以及由于减少了应酬政府市场检查人员的时间，仅仅几个月，制造商节省的钱就足够支付机器的投资。另一家制造阴极射线管的公司，由于不能很好地控制在面板上涂磷的工艺，工厂几乎倒闭。由于磷的

价格连年增长，不少参与竞争的公司使这一过程自动化，故能以一半价格提供质量更好的产品。另外，即使那些机器人在不比人干得快的场合，机器人运行的稳定性也是一个毋庸置疑的优点。例如，在压铸和注塑中，机器人稳定的生产周期可保证产品生产温度的均衡，从而生产出更为一致的产品。另一个优点是，由于工业机器人可持续运行，无须中间休息，产品质量尤为稳定。焊接是又一个由于生产稳定，避免废品损失，然后显著节省的应用实例。

消除有害作业中危害人类健康的因素，进而提高工作质量，是采用工业机器人的又一重要原因。例如，从 40 年代开始，便使接触放射性材料的各种工作由遥控机械手和机器人去做。喷漆、化工或其他多粉尘工作环境的有毒作业，虽不象放射性危害那么明显，但也同样会造成一些严重的问题。如一家石棉制品厂，人们吸入在显微镜下才看得见的石棉微粒，会导致严重的肺病。这家公司花了一百多万美元，在一个又高又大的厂房内安装通风设备，改善工作条件，以期达到“职业安全健康管理标准”的要求。现在看来，也许最好的解决办法是在一个封闭的车间内采用机器人工作。100 万美元足可以购置很多机器人。

采用机器人完成那些由于环境恶劣人们不想去干的工作，如在噪音、高温及有毒气体的环境中，快速单调地提举、装卸重物的工作，很难评价其经济效益，但却含有意义深远的人道主义价值。因为现在许多工作还是由人来做的，如准备用机器人代替，就应该在经济上更值得才行。在这种情况下，就必须进行细致的经济分析。且要考虑以下几个因素：偿还周期、本金回收、现金流通分析、课税优惠、设备折旧、公司税利等等。我们相信，对很多行业、企业来说，使用机器人来工作，将是更为优惠的。当然，随着机器人工业的发展，机器人的适用范围将越来越大，机器人的价格将越来越接近大众的消费水平。因此，现在只有一部分的单位和个人买得起机器人，将来会变成大部分单位和个人买得起机器人，并且认为这是值得的。

4. 2 机器人对社会的影响

前面我们曾经谈到，随着劳动力价格的增长，机器人正在变得更经济实用，而机器人的价格也会逐渐下降。据多数人预测，到本世纪末，仅在美国将有 100 万台机器人付诸使用。因此，会有越来越多的人对机器人产生兴趣。机器人不仅可以承担一些老式工作，而且将开拓出一个全新的工作领域，使一些新型工业得以产生。这些新型工业将生产与机器人应用有关的产品，如新型传送带、终端执行器、图象系统、置位设备和运输机械，也直接生产机器人和机器人部件。这样，在今后二、三十年内计算机和机器人将开辟的新工作包括软件专家、仿真设计师、计算机程序员、机器人训练师、人工智能工程师和科学家、自动工厂的安全专家、教育家和职业顾问、人机对话专家、雇员关系顾问和训练师以及在机器人的销售、市场、安装、控制、维修和教育方面的大量工作。同时，机械师、机器装料工、喷漆工、焊工、包装工、柠檬挑选工和仓库保管员等工作将逐渐消失。目前受机器人影响最大的是这些工厂中的手工劳动者。象打字员、图书馆员、银行雇员、电话员和绘图员等“白领”工作人员在近年也将逐渐减少。随着更多的机器人付诸使用，机器人现代自动化将对社会产生更大的影响，其中最重要的影响之一是教育和训练。

很多人可能认为，机器人工作起来永远不需要人的配合。其实，情况并非如此。机器人是机器，与其他的机器有共同之处，需要人去设计、制造、编程、安装、检查故障、管理、维护和修理。每种工作都需要不同程度的技能和不同种类的知识。当前机器人生产领域需要很多合格的应用机器人工程师。在这样训练有素的工程师手里，机器人是个强有力的工具。因为现在已发明了机器人，而其用途又几乎是无限的，工程师只需简单地将这两者结合在一起。而且，多数机器人用户都需要受过高级训练的人去设计和指导，也需要工程师去安装和使用。当然，在机器人被大量使用后，非工程技术人员也将有很多机会去接触机器人。事实上，一些机器人专家已经认识到，由于机器人广泛应用所派生的多数的工作，将由经过训练具备当前机械师和计算机程序员水平的技师去完成。这些技师将成为工程师和使用者之间的桥梁，他们同时也做一般的机器人的维护工作，机器人技师可能承担很多原系工程师完成的任务。所以，很多机器人学专家反复强调需要培训方案，为这些新工作准备充足的劳动力。

但是，往往很难确定需要何种训练和需要多少技师。因此，工业界和教育界必须很好合作，以缩小训练和现有工作的不协调。例如，当前缺少应用工程师，但没有人能准确估计所需工程师的数量。

机器人学和有关的工业技术部门必须与教育部门密切配合，既防止技师不足又防止过剩。学生们也有责任在教师的指导和帮助下，注意职业需求，并相应调整他们的课程，使他们的技能和知识能满足毕业后的工作需求。

要。因此，教育者和导师必须了解机器人对就业需求正造成的和将要造成的影响。

现在，有些大学在工程院系中设置了机器人课程。有的两年制专科也设置了一个完整的持续两年的机器人学课程。几乎所有的工程学科都对机器人及其应用产生了兴趣，很多其他学科也开始对此发生兴趣。同时，社会上也认识到，要为商学院中那些将成为管理者和计划者的人开设机器人和生产方面的课程。

美国一些主要的机器人生产商，都制订了措施，帮助四年制大学筹建教学设施，如捐赠机器人给大学或生产廉价的教学设备。这些能给学生提供亲自实践以完善理论的作法是很有价值的，让应用工程师具备使用实际机器人的经验是很有必要的。除了实施教育方案外，机器人生产商自己也开设了一些机器人方面的入门性课程，特别是开设使用和维护机器人系统方面的课程。然而，这些课程收费昂贵，每个学生每周需缴 100 美元，另外，工厂一般并非理想的教室，授课教师也未必是接受过教育专业训练的。但这一切，都说明了机器人对教育和训练的影响之大。

另外，机器人对就业也产生了影响。威斯特于 1983 年将失业定义为“工人不情愿的空闲”。失业分短期失业和永久性失业。有调查表明，采用先进技术所派生的新工作要比失去的工作多。如果新工作要求新技术，就必须接受重新训练，以避免在那些应用机器人的工业中得经常更换工人。事实已表明，机器人对社会产生的唯一最重要的影响就是必须重新训练许多人去做他们所不熟悉的新工作。

开始时，这种训练可能还不成问题。但由于各种原因，一些工人可能不愿重新训练以适应一种新工作，他们也可能怨恨这些使他们失去旧工作的机器。即使如此，一些工业如汽车工业还是感到压力很大，他们必须应用现代技术使生产过程自动化，以保持其在国际市场上的竞争力。因此，他们在机器人的问题上常常是没有选择余地的。如在过去几年里，一些美国公司由于竞争不过一些国家的产品，失去了很多本国市场。其中有的是大量使用机器人的国家，如日本（据 RIA 统计，日本 1982 年有 32,000 台机器人，而美国只有 6300 台）。适于人类干的工作是无限的，从医学上治愈癌症，到理想的家庭生活，为实现每一个领域生活水平的进步都是必要的，然而可提供使用完成这样无限的工作的资源却是有限的。所以，合理地掌握和使用这些资源，对我们的子孙后代永远是至关重要的。

最宝贵的资源之一便是人的创造性，不应将它浪费在可以用机器去做的事情上。但这并不是说小型个体工商业不是我们社会的组成部分。手艺和技巧仍是人的思想、技能和创造性的重要表现，而且，这些手工艺品也总是需要的。当已经拥有优质的机器，我们主要依靠大量生产商品来满足市场需要时，必须尽力利用人和机器这两类资源与别国竞争。

《机器人时代》曾推算，一个机器人可代替两个工人进行工作，1990

年 10 万台机器人代替了 20 万个工人，其中有 90%的工人转到其他应用工业中去，5%的工人退休，只有 5%的工人面临永远失业的危险。然而，这 5%的工人也可以转到那些由于机器人兴旺发达而派生出来的新工作中去。如前述，需要相当数量的机器人应用工程师、机器人技师以及操作人员去维护、操作、编程、管理和修理机器人。在美国，失业问题并不是由于机器人引起的。恰恰相反，正是由于自动化不足才导致生产率降低，产值下降。1982 年失业问题有所缓和，而这一年却有近 6300 台工业机器人投入使用。但在很少使用机器人的某些年头里，失业却成为一个严重的问题。

全部就业是理想的，也是个极限数字。例如“充分就业”的通常意味是只有 3%或 4%的劳动力失去工作。由于工人迁移、请假或正在调动工作，这个小小的数字是可以容忍的，也是不可避免的。然而由于经济体制的某些变化，“充分就业”或许有可能意味着 6%或 7%的劳动力失去工作。例如 8000 万个劳动力中将有 600 万人无工作。其中一半是那些由于现代自动化失去旧工作，正在接受重新训练以接受新工作的人，这就减轻了由于经济结构变化而产生的失业。即解决了技能和工作不协调的矛盾。一些专家预言：由于技术进步如此迅速地改变着对技能的要求，多数工人必须经常性地接受周期性的重新训练教育，以胜任他们当前的工作。最切实可行的方法，是训练那些被机器人替换下来的工人，使他们在本部门内获得新的工作岗位。

总之，把机器人引进经济体系，将会产生许多新的工作，以弥补那些从人手中消失了的旧工作；技术进步造成生产率的增长，将提供更多的就业机会。

4.3 机器人抢了谁的饭碗

对于不同的组织和国家，机器人所具有的特殊专长和能力及其有关技术可能成为一种与国家政治有关的东西。很多不同的组织关于应该如何推销、生产、利用和控制机器人各持己见，这毫无疑问也将成为未来的话题。工业机器人是生产资料，即它们是为了增加老板收入的目的而销售的机器。机器人是可以为它们的老板大大增加收入的。一些个人、集体、外国股东或政府都可能是机器人的现在的或潜在的股东、拥有者。机器人将成为很多个人或公司的私有财产。这对社会将产生相当大的影响，我们有必要去调查这一影响。例如，机器人有可能使很多人失去原来的工作，那么，就要实施一些政策，以防发生失业。如在工作场地使用机器人可能危及安全，那么任何人受到伤害之前，就必须制订必要的措施。机器人学的研究应当导致工人工作条件的改善、工资的增加，并提供更多的职业。

据有关研究表明，机器人将提供防止或减慢生产率下降、使之重新回升的方法。生产率的增长意味着工资和就业的增加，也意味着由于减少人们在不理想的环境中工作而带来的不利后果。另外，如果我们不能赢得世界范围内的工业现代化竞争，我们将大量使工人失业。我们只有使用机器人，赢得国际竞争的胜利，经济条件好转，才会降低失业率。但是，我们在广泛研究机器人对失业的影响时，切不可掉以轻心。这样，才能制订出经过深思熟虑的具有远见的决策。这些政策将改变教育训练方式，或扩大专业训练，提高人们的技能，以便当机器人取代人们的工作时，人们可以转向新的工作。而且，应该在企业家和研究人员之间开展进一步的合作，以便更多地或更有效地利用新技术，这是十分必要的。

从对劳动力、工作、生活水平和工作质量所具有的潜在影响上看，机器人与计算机相比是毫不逊色的。虽然，当前已启用的机器人数量相对还不算多，但随着投资和研究积极性的提高和技术的进步，预期今后在这个领域的实践活动将大大增加。

机器人和人之间并不存在固有矛盾。生产率并不是人与机器斗争的结果。一般人们完全能够理解，生产率增长缓慢意味着什么，而机器人和自动化生产发展又是如何促进这个增长的。我们要时常想到，使用机器人的目的完全是为了帮助人类而不是为了伤害人类。换句话说，没有一个科学家和企业主会有意削减那些努力工作的人们的工作和收入。有时，新机器也使人担忧，它常常会使我们的谋生手段产生巨大的变化，例如，汽车的发明实际上完全代替了马的工作。很多铁匠、钉马掌工人、饲马员都失去了工作，但这不是一夜间发生的事，它经历了几十年的漫长风雨。当汽车变得越来越多并且人们都能买得起时，马逐渐衰老死掉不能再为人类服务了。这时马的主人不再去买马，而用汽车代替了马。铁匠和钉掌工人一定能理解交通运输的这个巨大变化，他们的子女也都学会了做其他工作。同

样，被机器人取代的工人中，只有极少数面临真正的失业。机器人还可以填补由于工人自然淘汰，如退休、残废、死亡或迁移所留下的空额。作为使用机器人直接的或间接的结果，几乎没有人实际面临失业，如果再辅以周密的计划，甚至将不会造成任何失业。

5 21 世纪的机器人

5.1 走向标准化

目前生产的机器人（因为生产厂家的不同），其外部设备、控制装置、传感器和其他配件在各个制造商之间，差别很大，配套的机器人系统极少其原因是多方面的。

首先，每个机器人生产厂家理所当然地希望自己成为某些特定系统的独家经营者；其次，很多机器人用户希望机器人能与已有的，有时甚至是陈旧的设备配套使用。而这些设备需要专门设计和特殊安装的机器人；再次，到现在为止，还没有出现公认的最好的机器人是什么样子和结构，所以大家还在摸索中前进，无法统一制造机器人。但无论如何，标准化的不足已成为人们采用机器人的一大障碍。它使得机器人价格持续昂贵、安装周期过长、能够全面熟悉机器人学的人很少。例如，即使对机器人这个定义，工业专家们也曾经长期激烈地争论过。其他名词，包括我们曾经在本书中使用过的很多名词，也引起过激烈的争辩。由于标准化不足，教师和训练人必须把许多机器人公司的不同型式的机器人系统都熟悉起来，这也使得机器人技术人员的培训工作变得困难起来。

未来的机器人标准化问题的解决有赖于我们的工程师、设计师、机器人生产者和重要用户之间的共同努力。我们相信，尽管现在机器人制造商之间的竞争会造成合作的障碍，但随着机器人需求量的增长，不同机器人之间互相接近（标准化）的程序必将日益提高。另外，随着旧的设备或自动化机械的报废，一批机器人的新面孔将出现，并且取而代之。这种集成的可能性势必要求更高的标准化程度。因此，走向标准化是未来机器人发展的一个重要趋势。

5.2 高智能趋势

未来机器人的一个最大特点将是它的智能化。当机器人具有能感知周围环境的某些事物且能作出反应的传感器时，它将完成现在不能完成的许多工作。它们将像人一样地完成某些作业。虽然目前机器人在工业中执行的很多作业并不需要传感器，但用上传感器必定会对上述功能有所改进。像前面曾举过的例子，现代喷漆机器人并不能识别它面前的待喷漆零件。这是全自动作业线或皮带传送线上需要的一个功能。但是，如果给这些机器人装备一套传感装置，例如光电二极管，它就可以识别作业线中的空隙。另一个例子是弧焊，做这种焊接的机器人不能预先确切知道待焊的缝或接头在什么地方。同样地，清除铸件毛刺也是一种应用。因为毛刺的出现是无规律可言的，触觉传感器可以给予机器人以极大的便利，它可以“感觉”到毛刺，并清除之。迫切需要传感器反馈的应用还包括服装、鞋袜和橡胶工业。这些机器人配上一个可延伸的机械手臂即可用于军事、家庭或困难而危险的环境中，完成作业和维护工作。当然，这些机器人已经出现，但其应用广度还不够，智力程度也达不到理想的要求，从这里可以看出，智力化是计算机发展的一大趋势。

5.3 无人工厂

不久的将来，机器人可能对工厂和仓库的设计发生较大的影响。采用传感系统、自动传送系统以及分层控制技术，整个生产过程都可自动化，人们就不用去干那些不安全和劳累的工作了。有一些工厂，现在已经实现了全面的自动化。在这些自动化工厂中，整个生产操作皆由移动式 and 固定式机器人以及其他自动化装置操纵。在日本甚至还建立了一些装配机器人的机器人工厂，因此，多数机械制造厂最后都可能要完全自动化。当机器人系统在未来变得更为精确，动态性能得到进一步改进，传感系统、分层控制和知识库管理系统得到进一步发展时，就会达到这个目标。

5.4 人类的奴隶和朋友

智能机器人最令人向往的应用之一，就是让它做家务，充当家庭奴隶、保姆和管家、保卫者。人们研讨了若干种可能的应用，如擦窗户玻璃、递送烟、酒、菜、安全巡逻、为花园除去杂草、喂养牲畜、清洗澡盆、存取家用物品、为小孩讲故事、修理工具、修饰发型、看护病人、充当宠物、作下棋的伙伴、陪伴老人等。

这些想法看起来好像是异想天开，其实如果不考虑机器人从事这些作业价格较贵、效率较低的话，有一些项目完全是可行的，可能在最近十多年就可以成为现实。因为现在的生活节奏快，我们没有多少空闲时间，财力雄厚的人就有可能花高价去购买一些机器人，让它们承担相当一部分既浪费时间又令人厌倦的家务，这个领域是很值得人们去尝试的。一些国家商业界的许多人都注意到了机器人潜在的市场。例如在美国，假定可用 30 美元买到一个省工设备，现在估计会有三千万人去买这个设备。这样每年销售总额可达 10 亿美元。一个 10 亿美元的潜在市场是相当有吸引力的。这样，未来将有更多最优秀的机器人研究者热衷于发展家用机器人，例如，有个机器人专家发明了一个轮式可移动的关节式机械手。他在办公室做了一次公开实验，让那个机械手打开厨柜，取出一个大杯子，倒入咖啡，然后打铃招呼人们：咖啡已经准备好了。另一个机器人研究者发明了一个会擦窗户的机器人：它沿着附在窗户框上的磁铁清洗窗户。

我们还可以去找机器人做伴。你也许认为这是愚蠢的想法。然而，事实上一个机器人伴侣可以成为年老、残疾或有缺陷的人的非常有用的伴具。例如一个带长臂和卡爪的机器人可以在架子上存放或取下物件，而有时用别的方法可能很难做到这一点。又如一个机器人警戒系统可以在你的房子失火、漏气或陌生人撞入时发出警报，自动报警营救或报告警察局，可以解除许多被困在家里的残疾老人的后顾之忧。巴特在美国加州海军研究院攻读学位时，曾发明了这样一个机器人哨兵。这个机器人可以担当家庭保卫者，一旦发现烟、火、气、漏水、地震、漏雨或入侵者时，它就即刻报警。头脑里有 300 个单词及词汇，可以同老人进行一般性的对话，使老人解除烦闷。传说日本科学家也在研究这类机器人。他们想让它们在未来直接照顾老年人和残疾人，免去这些人的生活之苦，减轻子女和社会的负担。

形形色色的机器人已经或者即将走入人们的生活。例如美国，已经研制了一种在草地上自己割草的机器人样机，工业和家用皆可，预计数年内即可成为商品。此外还有几种个人用机器人，“行走电脑”即是其中之一。它有三英尺高，装有红外线传感器，利用与人体热场调频，可以在一个房间内找到和跟踪人。当然，它是移动式的，可回转和躲避障碍物，装有两台内存为三兆的微处理器；它还有一个声音合成器，当电池用完时，它可

由程序控制自动充电。由于有程序控制，主人可以让它说、唱自己想听的任何事物。此外，“夜间歼击机”的出版者曾得到一个由朋友馈赠的机器人，他用这个机器人迎客、送饮料和招待客人。这个机器人带有彩色电视机、录象机、彩色照相机和一个饮料托盘。更有趣的是，佛罗里达州的一个警察局曾购置了一个机器人，用它对外联络和教学，它是一个名副其实的机器人警察。而机器人 Redford，在马里兰州某学院发表毕业典礼致词时，同时发出广播摘要。它在试映和展览中，用唱歌、跳舞和发表幽默的评论吸引着广大的观众，每天可为主人赚 1200 美元。

服务机器人通常就是简单的遥控机器人，用以吸引观众并为之服务。一种通用的机器人就是 Denby，是机器人世界公司建造的推销机器人。服务机器人时常得到人们意想不到的应用。最近几年出现了一种机器人，用作精神病患者和孤独症患者的医疗用具。据报导，这个机器人在从纽约到洛杉矶的一次航班上，用储蓄卡付了自己的机票费，订了一份饭，当问它要允许吸烟的座位还是要不允许吸烟的坐位时，它回答“我只吸晶体管”。这个机器人能讲好几种语言，而且能使反应“带有感情色彩”。

早在 1981 年圣诞节，美国的一家公司就推出了 Com-Rol 型机器人，它可以开门，带着狗去散步、清除垃圾，为植物浇水、拖地板，其价格为 15,000 美元。科罗拉多州的 RB 机器人公司制造了另一个机器人，它为家庭和教育使用而设计，且包括自备的微处理机。此外，还有其他公司制造的很多机器人。这些机器人的出现标志着从过去的遥控机器人玩具向着真实的机器人跨进了一大步。

这些不同类型的机器人制造者希望家用机器人市场能像家用计算机市场一样地扩展开来。能由家用计算机控制的机器人很可能是第一个找到广阔市场的机器人。理由很简单，因为这些机器人便宜。无论如何，前面说到的机器人在不到几年的时间里，价格从几万美元降到几千美元，这说明机器人正成为一般人买得起的东西。使用机器人是人们一直向往的，但价格可能是推广应用的最大障碍。一旦家用机器人价格降低到人们可以承受的程度，它将像微机一样逐步进入家庭生活。另外，技术问题也有待于人们去解决。比如说，目前家用机器人的电池是一个亟待解决的技术问题，即需要一种可以更快地充电的电池。今天的电池放电和充电速度大致相同，理想的电池最好放电速度慢而充电速度快。这好比让机器人“工间休息”，而不是在你计划大宴群宾需要它出场之时，它却还没有充足电，让大家扫兴。总之，实际应用中要求技术操作简易却有很高的效率。在未来，这一切必定会大有提高，机器人会真正走入我们的生活。

5.5 越来越像人了

在机器人制造业比较发达的美国，各个机器人研究单位的研究重点，将预示着机器人在未来的某种发展方向。现在，美国的很多研究中心，比如斯坦福大学、卡内基—麦隆大学、辛辛那提大学等正在研究不仅可以进行作业，还可以控制移动轨迹，且可以导向绕过障碍的移动式机器人。可运送零件和材料的工业机器人运输车，是正在作为商品应用的一种。很多其他应用可望在未来的 21 世纪达到商品阶段。行走的机器人是一种重要而特殊的移动机器，例如在本书的前一部分谈到的那些正在设计中的行走机器人。美国俄亥俄州州立大学已经发明了其中的一种，并使之跨出了实验室，走进了市场。总部设在加州的 Odetics 公司，前几年曾推出一个六足行走机器人。它不仅可以行走，还可以做如下表演：爬进一个运货卡车，然后趴下，再后抬起和拖运这个卡车。公司预期其机器人将得到很多应用，例如搬运货物、储存、灌溉、收获、田地监视、矿冶应用如冶炼和液面控制、核反应堆应用如监控和紧急作业，以及军事方面，等等。总之，机器人如能真正地像人一样灵活而稳定地行走，其应用范围将更加广泛；同时，它将成为 21 世纪机器人中很特别的一员。

5.6 险处谋生

未来的机器人可能具有的一个最为激动人心的能力就是：在那些我们无法进入或十分危险的环境里，起到人眼和人手的作用。这些环境可以是外层空间、海底、深矿以及充满可燃气体和正在燃烧的建筑等。水下机器人可以用来建造或修理海上建筑如海上采油平台、采集海底样品、钻探、或进行搜集营救作业。这些机器人的大小不必像它们水上的同类机器人那样受到严格的限制，它们还可以用水或气喷嘴作为动力源。目前这一领域的研究工作正在进行。

向机器人开放的另一个环境是宇宙空间。前面我们已经谈到了航天飞机机械手的发展。这种机械手可能成为建造空间站、空间工厂或制造在地球上无法有效制成的产品的那些机器人的先驱。有些研究人员预测机器人将同样被用于月球和行星的探测和开矿、维护空间轨道站、修理宇宙航行车、甚至制造更多的机器人。

日本的研究员正在研究一种在充满可燃气体和正在燃烧的建筑物里，进行抢救作业、搜索和救护的机器人。这个机器人将利用最尖端的机器人成果，如视觉和对话系统（见第三代机器人部分）、可移动、可传感机械手等。它还将具有自救系统，例如具有使自己冷却的喷头，并会使用水龙头或化学灭火器。

本书开头曾提到的许多危险环境，如煤矿、放射性环境、化学污染环境以及北极和沙漠地区等，也将是下一代机器人工作的重要区域。

5.7 耐心的护士

把机器人用于医疗看护方面，以帮助有缺陷或残疾的人做他们力所能及的事情，这是机器人事业的一个重要发展。日本的研究人员报告说，他们正在试图研制一种机器人，它可用作盲人的向导。它们比带路的狗具有更多的优点：机器人无需喂食，也不用像对待活的动物一样去照看它。另外，它们也不会排泄或弄脏环境，而清除掉这些东西，对老年人来说是件很烦的事情。日本在 1975 年就发明了一种名为 Wabot-1 型的双腿机器人，他们还在不断地改进其设计。虽然这个机器人被设计成自控机器人，但行动不便的人完全可以直接控制这种机器人作为自己的运动装置。

另外，日本已发明了一种可以帮助卧床患者的机器人。它包括一套集成控制装置、一个电视摄象机和监控器、一个指令装置、一个关节式机械手、一个方便支架和一个自动传送车。那个方便的支架就像一个书架或敞开的柜子，其中装有患者一天当中需要用的食物、水和书等各种物品。支架上的物品都可以在电视显示器上显示出来，患者可以从清单上选出需要的物品。然后，患者指令小车从自己身边移向支架。小车上的机械手作为大型工业机械手的小尺寸变型，它有九个接点可以抓住选中的物品。然后，小车返回患者身边，拿回一本书，或取出患者的食物或饮料。如果这类机器人可以成功地设计出来，并且达到一个较高的水平，那么人类在看护病人方面将出现一个重大突破。到了那一天，护士们就可以去从事他们必须经过教育和训练才能从事的那些复杂而细致的工作，真正体现人生的价值。因为，为患者取些物品并不需要取得学位的人去做。

5.8 勤劳的农民

在世界各国，特别是美国，正在发展农用机器人。在这个领域内发展机器人的动力是劳动的季节性特点和劳动力成本在农产品成本中的比重过大。通常农民的劳动受天气和气候等条件限制，并且劳动力成本构成了农产品生产成本的主要部分。因此，国际市场上的农产品竞争胜利者，通常是农产品竞争中劳动力相对便宜的国家。

现在世界各地的机器人应用于农业方面的数量正逐年上升。它们从事的农业工作包括：稻田自动收割、剪羊毛、联合收割等。使用机器人以前，很多农业工作都使用了具有反馈控制系统的设备。但是，加上传感器和微处理机，智能机器人系统出现了，它可用来完成有选择性的收获工作和对付活的动物。例如，美国佛罗里达州大学农业工程系的研究人员研制了一种柑桔收获机器人。它不仅能够移动，有一个通用的机械手，而且还有一个视觉传感器来分辨已熟和未熟的水果。另外，树与水果的位置和方位是各不相同的，因此依靠复杂的计算机程序，机器人识别出桔子树，找到水果，采下已成熟的水果。这部机器人是部多机械手样机，它一旦投入市场，将免去目前收获柑桔的劳动之苦。如果得到推广，那么这种经济上的合算和技术上的可行将为农业的发展作出贡献。

智能联合收割机和拖拉机是农用机器人的另一个方面的发展。促使这种机器人发展的原因很多，最主要的原因是要求人们驾驶农业设备的每一次运动都相当一致是非常困难的。然而，恰好是在某些应用如耕种或收获过程中，希望行与行之间不要有变动，以期得到较高的收成。即使有变动，其量最好是特别小。为达到这个目标，人们试验了自动导向系统，并已取得成功，它使行与行间的变动量小于几个毫米。

当然，农业机器人系统中最为先进、堪称奇观的还不是上述这些。西澳大利亚大学的一群科研人员发明了一个剪羊毛机系统，这是较为先进的。这个系统包括一套传感器，使切削羊毛的刀头恰好处于动物的皮肤上面，并由动物的呼吸等因素调节其变化量，从而使伤害率降到最低程度。这是一个巨大的进步，是机器人在活的动物身上进行作业的第一个著名应用。如果机器人技术进一步发展的话，在不久的将来，就可以让机器人来为我们理发喽！

5.9 忠实的士兵

机器人的出现，不仅对工农业生产、人们的日常生活服务有着不可估量的重要价值，而且对未来的战争必将产生深远的影响。外军是这样评论的：“未来战争的主角可能是机器人”、“靠机械装置维持生命的人将被派往战场”、“机器人是 21 世纪战争巨大兵力的补充来源”等等。

目前各国研制的军队机器人士兵，虽已有自己的肌体（头、身、手、足等）、大脑（电脑）和感觉器官（听觉、视觉），但其大脑还不够发达，五官不健全，五官的素质比大脑还差，只能算是“原始”智能机器人，少数能算“蒙昧”智能机器人。

美国研究部门以奥德克斯公司制造的 I 型（功能式）机器人为基础，研究执行各种不同作战任务的机器人士兵。这种机器人有六条腿，行走时，抬起前三条腿，另三条腿支撑地面，交替进行，走起来“轻快灵活”。能登高，也能从高处往低处走。抬脚时脚离地面 83.82 厘米。它可以全方向运动，抬腿后也能改变行走方向，甚至可以旋转身体。它能在崎岖的地形上行走，还能负重。静止时，能负担 953.4 公斤重的物资、弹药（相当于其体重的 5.6 倍）。行走时搬运近 408.6 公斤重的弹药。它能像士兵一样越过障碍，爬上车辆，走浅滩或泥泞地，还能到士兵无法接近的地方，如核、生、化污染地区。该公司在这种机器人的基础上，还能因执行作战任务的不同，制造出“高大”型、“正常”型、“矮子”型、“瘦子”型机器人士兵。

各国目前正在研制的机器人士兵大体有八种类型：

机器人步兵。它能值勤与警戒；能欺骗敌人迷惑敌人，为突然袭击对方创造有利条件；它本身还具有攻击力。美军研制的“先锋”机器人步兵，主要用于值勤放哨，它能发现任何敌人，并将情况报告给班长。由于它配有武器，在步兵班投入战斗前的短时间内，还能先进行还击，顶住进攻之敌。美军还有一种名为“激战哨兵”的机器人步兵，除装备有对付敌装甲车辆用的传感器和反坦克武器外，还配有近距离用的轻武器。当它探测到敌装甲目标时，能自动抢占有利地形进行射击。美国还研制成了机器人警卫，它装备有机枪和手榴弹，可以用于看守监狱、输油管、机场和军事设施。还有一种机器人士兵，能模仿部队的电子器材，在不同的阵地上来回运动；模拟一支战斗小分队，给敌以完整的“信号”，欺骗敌人。

机器人侦察兵。它可以在未来的战场观察、监视和搜集情报等方面大显神通。有的机器人侦察兵能自动深入敌前沿阵地内执行侦察任务，它能根据要求，拟制潜入敌阵地途中和抵达特定目标时的详细行动计划，能观察和收集小型目标资料，并能实施火力侦察。有的机器人侦察兵，主要用于特定地区的观察，发现特定目标即向派遣者报警，并能按指示使用激光为使用寻的弹头武器的突击指示目标。它能在预定几点之间独立变换位

置，观察效果好，且有一定的战场生存能力。

机器人防化兵。目前它只能施行放烟幕，进行核、生、化污染区侦察。施放烟幕的机器人，装有发烟设备，能自行运动至预定地点，按指令施放烟幕。这种机器人防化兵，主要用于进攻部队的侧翼和前方。数个机器人配合行动，足以构成一道烟障。核、生、化机器人防化兵，能对核、生、化污染区进行侦测、鉴别，将侦检结果绘在图上，作出报告，而且还能取回样品。

机器人工兵。它可自行设置标准雷场，它根据使用者的要求，从附近弹药补给所装运地雷，在预设雷场挖坑，安装引信，打开保险，埋设地雷。它装有传感器和毁雷装置，能避开地雷行走，也能将地雷销毁，按要求迅速开辟道路，并加以标志。还有一种机器人工兵，可排除爆炸物，能根据位于安全距离以内的操纵人员的指令，对爆炸物进行处理。另外，有一种机器人工兵，如英国的“轮桶”机器人，可以搜查排除炸弹和地雷，并能独自前往侦察放在汽车里或大楼里的炸弹。它工作时能使操纵者通过电视摄象机看到埋藏着的炸弹，指挥其把爆炸物拆除或引爆。如果炸弹在汽车里，“轮桶”在操纵人员指挥下，会打破汽车玻璃，取出炸弹，把它转移到安全地带使之爆炸，英国军队已装备了这种机器人。

机器人修理工。在战场上进行抢修损坏车辆、武器的任务。它可以在抢修车乘员的控制下，为损坏的车辆或武器装备接通电缆、换装损坏的零配件。若机器人修理工具有坦克操纵和修理专家知识库系统，或火炮操纵与修理专家知识库系统，将能完成复杂的战场损坏坦克和火炮的抢修任务。

机器人搬运工。可在战斗地域前沿或比较危险的条件下，运送桥梁构件、油桶，或搬运、装填弹药，送给养、送伤员……

天基反导弹系统留空机器人。可以长期在空间运行，根据目标探测跟踪、识别系统分析的参数，作出准确判断，适时发出预警，并选择和使用武器拦击来袭导弹。

机器人潜水员。既能测定水雷位置，又能适时将其摧毁。进行作业时，迅速而可靠。排雷时，扫雷舰上声纳的侦察到水雷后，机器人即潜入水中，在扫雷舰的声纳指引下，潜至水雷附近并将之击毁。如果水雷由电线或链条系于海底，机器人将用切割装置切断电线或链条，使水雷浮出水面，而后由舰艇上的火器将水雷击毁。如水雷装有磁性装置，舰船发动机的声响、震动或钢制舰船的磁场会引起水雷爆炸。这时，扫雷舰先离开布雷区，到安全水域，然后由机器人将小型定时炸弹投放到声响水雷附近，并发出仿效舰船发动机音响的声频引爆水雷。

目前研制的机器人士兵，虽属原始，却描绘出未来的前景。今后，机器人士兵越来越向人机对话的方向发展，能听懂指挥员下达的简单口令，按其指示执行任务。它将具有更高的智能，能够按作战的具体条件计划自

己的活动，能够按诸兵种协同作战要求进行作战。但要使这种机器人士兵问世，尚需科研和设计人员长期的艰苦努力。

总之，机器人正向拟人化、仿生（物）化、小型化、多样化的方向发展。人工智能方面的研究人员正在苦攻很多课题，如游戏，论证定理，解决一般性问题（如感受能力——视觉和语言），理解书面语言，解决高度专业性问题（如抽象数学运算、医学诊断、化学分析、以及工程设计）。有的机器人科学研究与设计机构，在集中人力、财力研究机器人的专门装置——拟人感觉器官装置，首先是提高视觉、触觉能力来扩大机器人的技术性能。据说，人对外界进行判断的时候，其信息量的 70% 是从眼睛进入的。正因为如此，人工智能专家们正在大力研究视觉。到 21 世纪时，这方面的研究将取得惊人的进展，真正出现第四代机器人（有人认为现在已出现的只是第四代机器人的雏形）。它们具有拟人的感觉器官、发达的大脑，可以同人“谈话”，会“摸”、“看”、“听”。亲爱的朋友们，请您耐心地等待它们的诞生吧！

