

Z  
HINENG JIQIREN

# 智能机器人

肖南峰 编著

华南理工大学出版社

# 智能机器人

肖南峰 编著

华南理工大学出版社  
· 广州 ·

## 内 容 简 介

本书介绍了智能机器人的体系结构、数学模型、驱动机构、控制方法、传感技术、信息融合、轨迹规划、实际应用等内容。本书注重理论与实践相结合,内容翔实,深入浅出,可读性强,是一本学术性和实用性都很强的教材。

本书可作为计算机、自动化、机械、电子等专业高年级本科生和硕士研究生学习“智能机器人”课程的教材,也可作为在机械制造、化工生产、核电维修、军事战斗、医疗手术、科学考察、办公事务、家庭服务、教育娱乐等行业从事智能机器人研究和开发的科学工作者和工程技术人员及高等院校师生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

智能机器人/肖南峰编著. —广州:华南理工大学出版社,2008.1

ISBN 978-7-5623-2765-3

I. 智… II. 肖… III. 智能机器人-高等学校-教材 IV. TP242.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 200961 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

营销部电话: 020-87113487 87110964 87111048(传真)

E-mail: scutc13@scut.edu.cn <http://www.scutpress.com.cn>

责任编辑: 赵 鑫

印 刷 者: 广州华南理工大学印刷厂

开 本: 787mm×960mm 1/16 印张: 12.75 字数: 294 千

版 次: 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~3 000 册

定 价: 21.00 元

版权所有 盗版必究

# 前 言

近年来，智能机器人的研究与开发引起了欧美和日本等许多发达国家的科学家和企业家的极大热情，这些国家的政府纷纷耗巨资组织和实施相应的发展战略计划，许多著名的大学和公司及财团也都成立或资助以研究和开发智能机器人为目标的研究机构或研究课题。例如，日本的早稻田大学、本田公司、索尼公司，美国的卡内基梅隆大学、麻省理工学院，等等。我国也将智能机器人列为优先支持和鼓励研究的领域，目前北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、北京理工大学、国防科技大学、华南理工大学等许多单位都在进行智能机器人的研究与开发。这主要是因为智能机器人具有其他机器人所无法比拟的优势和特点。现在智能机器人不仅应用在机械制造、化工生产、包装输送、设备安装、核电维修等工业生产领域，而且还可以广泛地应用于军事战斗、医疗手术、科学教育、办公事务、家务劳动等社会生活领域。它们的工作环境也从单纯的室内环境扩展到今天的各种环境，包括天空、海洋、矿井等。可以预见，智能机器人将会首先在军事、医疗、文娱、家用等领域取得突破性进展。

为了配合国内外智能机器人的研究与开发，促进和提高我国智能机器人的研究和开发水平，本书详尽地介绍了与智能机器人相关的各种基础理论和最新研究成果。书中所述的智能机器人可以代替人在危险、恶劣、极限等环境下完成各种繁重、复杂的作业，它们必将在工业、农业、林业、军事、医疗、文娱、家用、教育等许多方面得到广泛的应用。作者本着理论与实践相结合、深入浅出的原则，在参考大量国内外文献的基础上，编写了这本学术性和实用性都很强的教材，以便为从事智能机器人研究和开发的高等院校师生、科研工作者和工程技术人员提供参考。

本书第1、2、3章由肖南峰编写，第4章由李俊琴编写，第5章由陈凯枫编写，第6、7章由陈昊编写，第8章由刘□编写。全书由肖南峰统稿，许冰校对。在本书的编写过程中，华南理工大学计算机科学与工程学院“智能计算机”科研团队的多位老师提出了许多宝贵的意见，甘志刚、辛瑞武、俞平、仲琛等同学做了许多有益的工作，没有他们的辛勤劳动，本书是不可能完成

的，在此谨向他们表示衷心的感谢。

此外，本书的出版得到华南理工大学研究生院教材建设基金资助。本书所述的有关研究内容得到国家自然科学基金项目（编号 60375031）、国家自然科学基金与中国民用航空总局联合资助项目（编号 60776816）、广东省自然科学基金重点项目（编号 36552）以及教育部留学回国人员科研启动基金（编号 2002247）的资助，在此编著者深表感谢。

由于编者水平有限，本书难免存在错误，在此欢迎广大读者提出批评和建议。

编著者

2007年9月20日

# 目 录

第 1 章 机器人概述.....	(1)
1.1 机器人的定义.....	(1)
1.2 机器人的发展历程.....	(1)
1.2.1 第一代机器人.....	(1)
1.2.2 第二代机器人.....	(2)
1.2.3 第三代机器人.....	(3)
1.3 智能机器人的关键技术.....	(6)
1.3.1 编程语言与编程方式.....	(6)
1.3.2 传感器技术.....	(7)
1.3.3 智能控制技术.....	(7)
1.3.4 路径规划技术.....	(8)
1.3.5 导航与避障技术.....	(8)
1.3.6 人一机接口技术.....	(8)
习题.....	(9)
第 2 章 空间投影与射影几何学.....	(10)
2.1 透视变换与射影几何学.....	(10)
2.2 齐次坐标.....	(12)
2.3 用齐次坐标表现运动.....	(17)
2.4 射影变换.....	(18)
2.5 射影变换与图像的形成.....	(22)
2.6 射影几何学与复比.....	(30)
习题.....	(35)
第 3 章 立体视觉与三维重构.....	(36)
3.1 摄像机校正.....	(36)
3.1.1 透视 $n$ 点 ( $P_nP$ ) 问题.....	(36)
3.1.2 透视三点问题.....	(37)
3.1.3 射影几何学与摄像机校正.....	(40)
3.2 立体视觉.....	(45)
3.2.1 基于视差的立体视觉.....	(45)
3.2.2 由一般放置的摄像机构成的立体视觉.....	(46)

3.2.3	射影几何学解法 .....	(49)
3.3	从对象的移动来再现其外形 .....	(52)
3.3.1	从对象的移动来了解其尺寸 .....	(52)
3.3.2	由运动来再现外形的线性解法 .....	(54)
3.4	立体视觉系统应用 .....	(57)
3.4.1	立体视觉存在的问题 .....	(60)
3.4.2	有效视场分析 .....	(61)
3.4.3	目标特征点的定位 .....	(62)
	习题 .....	(65)
第4章	图像处理与机器视觉 .....	(67)
4.1	图像处理 .....	(67)
4.1.1	图像处理的主要内容 .....	(67)
4.1.2	图像处理的主要运算 .....	(68)
4.1.3	图像滤波 .....	(69)
4.1.4	视觉图像修正 .....	(73)
4.1.5	视觉图像分割 .....	(75)
4.1.6	中值滤波效果 .....	(77)
4.2	机器视觉理论基础 .....	(80)
4.2.1	图像理解与机器视觉 .....	(80)
4.2.2	灰度图像采集和 CCD 摄像机 .....	(81)
4.2.3	摄像机模型 .....	(82)
4.3	机器视觉与视觉跟踪 .....	(84)
4.3.1	机器视觉系统框架 .....	(84)
4.3.2	视觉跟踪与主动视觉 .....	(87)
4.3.3	主动视觉理论的发展现状 .....	(88)
4.3.4	主动视觉与颜色和彩色图像 .....	(89)
4.3.5	颜色直方图 .....	(95)
4.4	图像形态学处理 .....	(96)
4.4.1	图像直方图规范化处理 .....	(96)
4.4.2	图像的多分辨率表示 .....	(97)
	习题 .....	(98)
第5章	主动视觉与目标跟踪 .....	(99)
5.1	主动视觉系统 .....	(99)
5.2	目标跟踪算法 .....	(101)
5.2.1	基于颜色的 CAMShift 跟踪算法 .....	(101)

5.2.2	颜色概率分布图	(102)
5.3	CAMShift 跟踪算法	(102)
5.3.1	基于特征点的跟踪	(104)
5.3.2	运动预测方法	(105)
5.3.3	跟踪滤波的基本原理	(106)
5.3.4	卡尔曼滤波器	(107)
5.3.5	Condensation 算法	(108)
5.4	结合颜色、特征点和运动预测的跟踪方法	(111)
5.4.1	运动预测模型	(112)
5.4.2	结合颜色、特征点和运动预测的跟踪框架	(112)
5.4.3	目标区域的表示	(114)
5.5	主动视觉系统控制	(115)
5.5.1	视觉伺服	(115)
5.5.2	主动跟踪控制策略	(116)
5.6	主动视觉实验	(118)
5.6.1	实验环境与跟踪目标	(118)
5.6.2	实验结果与分析	(119)
	习题	(121)
第6章	智能机器人自主导航	(122)
6.1	智能机器人导航	(122)
6.1.1	导航与路径规划问题	(122)
6.1.2	导航方式分类	(122)
6.1.3	导航系统分类	(123)
6.1.4	导航中的定位	(124)
6.1.5	建图与路径规划	(125)
6.2	局部导航	(125)
6.3	视觉导航技术	(125)
6.3.1	立体视觉导航	(126)
6.3.2	单目视觉导航	(127)
6.3.3	路标检测和轨迹跟踪视觉导航	(127)
6.4	智能机器人运动学	(128)
6.4.1	驱动轮的约束方程	(129)
6.4.2	运动学方程	(129)
6.4.3	位姿校正	(130)
6.4.4	结构误差的分析及补偿	(130)

6.5	导航系统设计	(131)
6.5.1	导航系统的体系结构	(131)
6.5.2	智能机器人定位	(131)
6.5.3	超声波与红外线传感器系统	(133)
6.5.4	RS-232C 串口	(133)
6.5.5	串口数据交换	(134)
6.5.6	超声波传感器实验	(137)
6.5.7	红外线传感器实验	(138)
	习题	(139)
第7章	智能机器人路径规划	(140)
7.1	路径规划概述	(140)
7.1.1	路径规划的定义	(140)
7.1.2	路径规划的分类	(140)
7.1.3	智能机器人位姿空间	(141)
7.1.4	环境表示方法	(141)
7.2	路径规划研究现状	(142)
7.2.1	传统路径规划方法	(142)
7.2.2	智能路径规划方法	(144)
7.3	人工势场法	(146)
7.3.1	势场概述	(146)
7.3.2	势场函数的构建	(146)
7.4	栅格法	(150)
7.4.1	栅格与环境表示	(150)
7.4.2	障碍物栅格的处理	(151)
7.4.3	栅格地图的初始化	(151)
7.4.4	路径搜索	(151)
7.4.5	栅格法的特点	(152)
7.5	路径规划的未来发展	(152)
7.6	势场栅格法与动态路径规划	(153)
7.6.1	路径规划结构图	(153)
7.6.2	栅格法构建路径规划参考地图	(154)
7.6.3	栅格地图中栅格势场值的构建	(158)
7.6.4	势场栅格法	(159)
7.6.5	动态规划法	(162)
7.6.6	导航与路径规划实验	(165)

7.7 局部导航方法 .....	(170)
7.7.1 智能机器人视觉导航系统结构 .....	(170)
7.7.2 障碍物空间模型的建立及计算 .....	(170)
7.7.3 局部导航算法设计 .....	(176)
7.7.4 导航实验 .....	(176)
习题 .....	(178)
第8章 智能机器人设计与实现 .....	(179)
8.1 智能机器人的特点 .....	(179)
8.1.1 智能机器人的工作环境 .....	(179)
8.1.2 智能机器人的基本特性 .....	(179)
8.2 PC机与智能机器人 .....	(180)
8.3 智能机器人的控制器 .....	(180)
8.3.1 主板 .....	(181)
8.3.2 数据采集卡 .....	(181)
8.3.3 传感器 .....	(182)
8.3.4 触摸屏 .....	(183)
8.3.5 无线网卡 .....	(184)
8.4 智能机器人的软件体系 .....	(185)
8.4.1 控制台系统软件的选择 .....	(185)
8.4.2 智能机器人的软件结构 .....	(186)
8.4.3 服务端软件结构 .....	(186)
习题 .....	(188)
参考文献 .....	(189)

# 第 1 章 机器人概述

## 1.1 机器人的定义

1920 年，捷克剧作家卡雷尔·卡佩克发表了科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》，他在剧本中首次提出了“机器人 (Robot)”这个词，并且把机器人描绘成像人一样的机器，不知疲倦地工作。自此以后，不仅“机器人 (Robot)”这个词广泛地流行，而且设计制造机器人的活动也异常风行。

那么，到底什么才能算是真正意义上的机器人呢？国际上又是如何定义的呢？

机器人可以简单地定义为一种能够通过编程来完成任务的机器。当一个程序编制完成后，它能够重复地执行这个特定的任务，并且能够在不需要设计新机器人的情况下，再次进行编程就可以执行另外的任务。人们身边的一些玩具，比如说会叫的电子狗、会跑的玩具小汽车等，它们都不是机器人。因为人们不能更新它们的功能，它们的程序已经被固化到它们的内部，不能改变，所以它们只能算作是电子玩具。

机器人的发展很可能引发一些人类不希望出现的问题。为了保护人类，早在 1940 年科幻作家阿西莫夫就提出了“机器人三原则”，阿西莫夫也因此获得“机器人学之父”的桂冠！机器人三原则是：①机器人不应伤害人类，而且不能忽视机器人伤害人类；②机器人应遵守人类的命令，与第一条违背的命令除外；③机器人应能保护自己，与第一条相抵触者除外。

## 1.2 机器人的发展历程

从我国古代用木头制成的能歌善舞的伶人，到 1961 年第一台工业机器人在美国问世，再到机器人蓬勃发展的今天，机器人主要经历了三个发展阶段。

### 1.2.1 第一代机器人

科技界把早期的机器人称作第一代机器人，它们按人编写的程序工作。这些机器人从严格的意义上来说不属于机器人，因为它们只能重复一种动作，以一种固定的模式工作。

机械是现代社会进行生产和服务的要素之一，能量的产生与材料的生产也必须有机械的参与。任何现代产业和工程领域都离不开机械，人区别于其他动物的一个重要标志就是能够制造工具。从制造简单工具演进到制造由多个零部件构成的现代机械，经历了漫长的

过程。15 世纪前，机械工程虽然发展缓慢，但是也积累了很多的经验和知识，具有相当大的发展潜力。到了 18 世纪后期，机械制造业成形，并成为重要的产业。在浩瀚的历史长河中，在机械制造领域，古代中国占据着重要的地位，在世界机械行业中处于领先水平，我国古代劳动人民对世界机械行业发展做出了杰出的贡献。机械是各个行业的基础，而中国古代人民正是在掌握了先进机械制造技术的基础上创造出了辉煌的中国古代文明，如图 1.1~图 1.3 所示。



图 1.1 西周马车（复制品）



图 1.2 秦始皇陵铜车马



图 1.3 地动仪

2

机械工程以提高人类的近期利益为目标来研制和开发新的机械产品。机械工程是传统的工程技术，机械可以完成很多人类直接或不能直接完成的工作，使过去的许多幻想成为现实。人工智能与机械工程的关系近似于大脑与手的关系，两者的结合将使机械工程在更高的层次上开始新一轮的大发展，并产生了一门新的学科——机器人学。在这一领域将涉及更广泛的学科，这也是人类解放自己迈出的重要一步。由此可见，机械已经深入到人们的生产与生活中，离开机械行业，其他行业的发展便会因失去机械这个基础而成为空中楼阁。

## 1.2.2 第二代机器人

第二代机器人由电脑控制，可根据需要按不同的程序完成不同的工作，这就使得机器人在很多人类所不能完成的工作上大展拳脚，解决了很多工业生产和日常生活中的难题。

20 世纪 40 年代后期，美国阿尔贡国家实验室就已开始实施计划，研制遥控式机械手，用于搬运放射性材料。这种机械手属于“主从”式系统，能准确地模仿操作员的手和手臂动作。20 世纪 50 年代中期，乔治·C·德沃尔研制出一种机械手，他称之为“编程的关节式传送装置”，其操作可被编程，而且可按照程序指令所确定的动作步骤顺序工作。编程机器人是一种新颖而有效的制造工具。

20 世纪 60 年代，利用传感器反馈大大增强机器人柔性的趋势已经很明显了。H·A·厄恩斯特朗于 1962 年介绍了带有触觉传感器的计算机控制机械手的研制情况。这种称为 MH-1 的装置能够“感觉”到块状材料，并用此信息控制机械手，把块状材料堆起来，无须操作员帮助。麦卡锡和他在斯坦福人工智能实验室的同事于 1968 年报告了有手、眼和耳的计算机的开发情况。20 世纪 70 年代，大量的研究工作都把重点放在使用外部传感器

来改善机械手的操作。今天，人们已经把机器人技术视为一个非常广阔的研究领域，它涉及许多学科之间的研究和发展，这些学科包括运动学、动力学、规划系统、运动控制、传感技术、编程语言和机器智能等。

为了提高生存率与交付质量一致的产品，工业界日益向基于计算机的自动化方向发展。现在的大部分自动制造作业仍然由专用机器完成，这些机器是专门为在制造过程中完成特定工作而设计的，其中所谓“硬性自动系统”的机器一般没有柔性，而且成本高。因此，人们对应用机器人产生了浓厚的兴趣。机器人在更为柔性的生产环境中能以较低的成本完成各种制造工作。机器人是一种带有外部传感器和可编程的通用操作机，可以完成各种生产作业。根据这一定义，机器人必须具有智能，而这种智能一般取决于与控制 and 传感系统有关的计算机算法。

工业机器人是一种计算机控制的通用操作机，它由几根旋转或棱柱形关节串联的杆件组成，这个杆件链的一端固定在支撑基座上，而另一端是自由的，可安装工具进行操作或装配作业，关节的动作产生杆件的相应动作。许多商业化的工业机器人被广泛地应用于制造和装配作业，如材料搬运、点弧焊、部件装配、喷漆、数控机床的上料和下料、空间和水下探查、假肢研究，等等。按照基本定义分类，这些机器人不外乎有笛卡儿坐标机器人、柱坐标机器人、球坐标机器人、旋转或关节坐标机器人等四种。当今的大多数工业机器人尽管由计算机控制，但是基本上还是简单的定位机器，它们再现预先记录和预先编程的运动来执行给定任务，主要完成一些比较简单的重复性工作。目前很多研究工作都面向改进操作机系统的总体性能。

图 1.4 和图 1.5 所示为焊接机器人和汽车制造业中的工业机器人，它们代替工人进行电焊、装配，不仅把工人从恶劣的环境中解放出来，而且也大大提高了生产效率。



图 1.4 焊接机器人

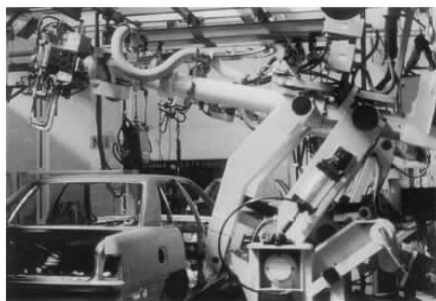


图 1.5 工业机器人

### 1.2.3 第三代机器人

第三代机器人也称为智能机器人。随着科学技术的不断进步，机器人逐渐向智能化发展，智能机器人也就应运而生。智能机器人具有人的智慧，可以认识周围的环境和自身的状态，并能进行分析和判断，然后采取相应的策略完成任务。早期的智能机器人主要用于

工业和军事领域，我们看到的大多是机械手和机器臂。随着时间的推移，非工业领域的自动化程度越来越高，智能机器人的应用领域越来越广泛。

智能机器人按工作环境可以分为室内智能机器人、室外智能机器人；按移动方式可以分为轮式智能机器人、步行智能机器人、爬行智能机器人、履带式智能机器人、蛇形智能机器人等；按控制体系结构可以分为功能式结构智能机器人、行为式结构智能机器人和混合式结构智能机器人；按功能和用途可以分为医疗机器人、军用机器人、助残机器人、清洁机器人等；按作业空间可以分为陆地机器人、水下机器人、空间机器人等。

现阶段各种类型的智能机器人：

(1) 应用机器人。应用机器人也称为“电器机器人”，它们就像具备智能的家用电器。“勤奋”的吸尘器机器人是这种机器人的代表，其外形像厚厚的飞碟，超声波监视器能避免其撞坏家具，红外线眼可避免其失足跌下楼梯。除了清洁，另一大类家庭应用机器人可用于家庭安全，典型产品有索尼公司的 AIBO 机器狗。消费者可以通过个人电脑或者手机与这类机器人联接，通过互联网指挥这些机器人执行家庭保卫任务。

(2) 不动机器人。不动机器人是安装在固定地点的家用机器人。它通过嵌入式软件进行操作，通过传感器感知，通过网络与人交流。三星和 LG 公司已经开始销售可上网的电冰箱。当冰箱里的食品储备减少时，它可以自动向食品零售店发去订单。

(3) 移动助理机器人。移动助理机器人品种很多，从个人应用到军事应用都有，是市场潜力最大的机器人之一。Accentur 技术实验室开发了一种个人助理机器人，它可以帮助你记忆陌生的面孔。当你向某人问好时，这个助理机器人可以通过语音识别引擎、麦克风风和摄像头等设备把对方的名字、低分辨率的照片存储到地址簿里。当你再次遇到这个人时，助理机器人会小声地告诉你他是谁。

(4) 仿人机器人。仿人机器人也称为通用机器人，是开发难度最高的机器人之一，因为大家希望从它身上看到人的表情和反应。目前，仿人机器人可以用于娱乐和服务。科学家们正在开发更智能的软件，使机器人能和人交流并具备学习能力。从某种角度说，仿人机器人的研发是真正考验人类智慧的行为。2000 年，本田公司发布了 ASIMO，这是世界上第一台可遥控、有两条腿、会行动的机器人。2003 年，索尼公司推出了 ORIO，它可以漫步、跳舞，甚至可以指挥一个小型乐队。

图 1.6 所示是具有视觉的二足步行仿人机器人，它具有极其优异的机动性和独特的功能。这种机器人可以控制其两眼协调运动，它的五指形机械手各个指关节上安装有驱动机构和分布式触觉传感器等，并且它能在未知而且凹凸不平的地面上稳定地行走。这种机器人可完成各种复杂的作业，比如机械制造、化工生产、军事战备、抢险救灾、医疗手术、科学考察、包装输送、办公事务、家庭服务、患者看护等，并且它也将出现在各种课堂中，因材施教，承担起繁重而艰巨的教学任务，成为老师忠实而得力的助手。

为了实现家居智能安防功能与家庭服务功能，现在已经有了能在室内环境中从事安防和服务工作的智能机器人。智能机器人依靠底部的 4 个轮子在室内自主地移动，在它的内



图 1.6 仿人机器人

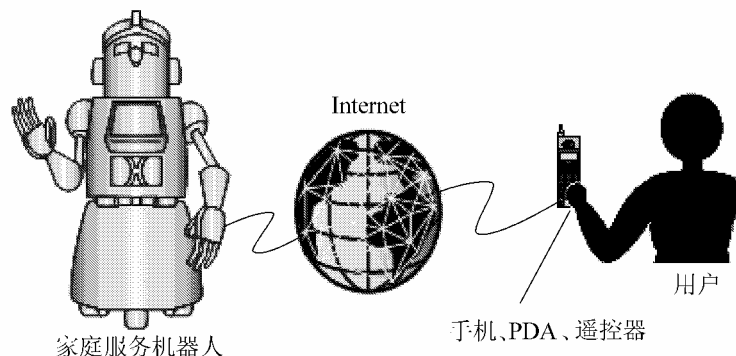


图 1.7 家庭服务机器人工作原理

部安装有智能安防系统，再结合智能机器人外部的电子门禁、电子窗栅、红外线传感器、烟雾传感器等就可以很好地实行智能安防，并且还可以将室内检测到的信息通过无线网卡和手机短信模块与在外的主人联系。此外，智能机器人也可以代替人有效地完成清洁卫生、家电控制、家庭娱乐、病况监视、儿童教育、报时催醒等服务工作，为主人提供一个更加舒适和安全的生活环境。家庭服务机器人工作原理如图 1.7 所示。

图 1.8 所示是足球机器人。机器人足球比赛是近年来在国际上迅速开展起来的高技术对抗活动，是体育与高科技结合的产物。比赛融入了机器人学、机电一体化技术、通信与计算机技术、机器视觉与传感器融合技术、决策与对策、智能控制等多学科高新技术。它可以反映一个国家信息技术和自动化技术的综合实力。其中，仿真机器人足球赛在标准软件平台上进行，平台设计充分体现了控制、通信、传感和人体机能等方面的实际限制，使仿真球队程序易于转化为硬件球队的控制软件。仿真机器人足球赛的研究重点是球队的高级功能，包括动态不确定环境中的多主体合作、实时推理—规划—决策、机器学习和策略获取等当前人工智能的热点问题。



图 1.8 机器人足球比赛

## 1.3 智能机器人的关键技术

一个理想化的、完善的智能机器人系统通常由 3 个部分组成：移动机构、感知系统和控制系统。

移动机构是智能机器人的本体，决定智能机器人的运动空间，通常有步行机构、轮式机构、履带式机构、爬行机构和混合机构等几种。

感知系统一般采用 CCD 摄像机（视觉传感器）、激光测距传感器、超声波测距传感器、接触和接近传感器、红外线测距传感器和雷达定位传感器等。

随着计算机技术和人工智能技术及传感技术的迅速发展，智能机器人控制系统的研究具备了坚实的技术基础和良好的发展前景。智能机器人的控制与工作环境的有关信息往往是多义的、不完全的或者不准确的，还可能随着时间而改变。因此，在部分已知或者未知的环境中自主执行任务时，应以最大的人员安全性及功能可靠性为条件，用传感器探测环境、分析信号以及通过适当的建模方式来理解环境。

目前发展较快、对智能机器人的发展影响较大的关键技术是编程语言与编程方式、传感器技术、智能控制技术、路径规划技术、导航和避障技术以及人一机接口技术等。

### 1.3.1 编程语言与编程方式

通用的工业机器人程序语言仍是动作级语言，虽然开发了很多种任务级语言，但是大多都不实用。随着离线编程技术的成熟，任务级语言可能会日趋成熟。在可以预见的将来，由于“任务”的复杂性，实用的语言仍将是动作级语言。机器人群作为整个集成化的生产装备的一个部分，编程及监控技术必须进一步改进，使得它能和整个生产设备在统一的框架下进行编程、仿真及监控。目前，编程语言依然是各个供应商独立开发的，五花八门，各式各样。在今后的发展中，随着智能机器人控制器采用通用计算机成为主流，智能机器人语言完全可以像计算机语言一样规范化，这将大大地有利于系统集成，便于系统的编程、仿真及监控。当前我国正在形成自己的智能机器人产业，完全有条件制订智能机器人语言规范，特别是动作级的编程语言规范。对进口的智能机器人起码要求有符合 ISO 通信协议的接口。从系统方法出发，开发一种“集成框架”，框架中设计输入翻译接口及输出翻译接口，这样系统可以在统一的语言下进行编程，经仿真验证后，通过输出接口直接安装到每一台智能机器人，通过输入接口对整个运行情况进行监控，并且可以保留原有的编程资料。

机器人编程方式是一个大问题。目前仍然在广泛应用的示教编程方式，在机器人发展的历史上起过不可磨灭的作用。由于传统的机器人为串联多杆机构，某一个连杆安装时，有 4 个几何参数，除 1 个作为可变参数外，还有 3 个安装参数，6 个自由度机器人一共有 18 个参数，因此造成的机械系统误差是一个十分复杂的问题。示教再现的编程方式解决

了补偿机械系统误差这一难题，成十倍地提高了机器人相对空间某指定点的重复定位精度，使机器人可以成功地进行弧焊、点焊、装配等作业。解决补偿机械系统误差可从三方面着手：一是改进结构，改善加工精度；二是在开发新一代控制器时，从诸如误差模型的建立、模型参数现场标定的方法及误差的补偿等入手，研究实用化方法；三是加入传感器来补偿机械精度。这些问题的解决就可使得机器人的编程和机床的数控设备一样，完全实现离线编程，配合易于大规模安全修改的软件，就可实现“敏捷制造生产线”。

### 1.3.2 传感器技术

近年来，各式各样的智能机器人传感器发展得很快。超小型化、高可靠性及廉价的传感器的出现，将从根本上改变机器人编程及其控制系统的设计。目前，弧焊机器人依靠焊缝跟踪装置已可实行离线编程。如果现有的激光测距仪及三维视觉继续在可靠性及廉价上下工夫，变成实用的商品，则目前大量应用的点焊机器人也可实行离线编程。力及力矩传感器应用将给目前装配机器人的编程及作业方式带来根本性的变化。

为了让智能机器人正常工作，必须对智能机器人的位置、姿态、速度和系统内部状态等进行监控，还要感知智能机器人所处的工作环境的静态和动态信息，使得智能机器人相应的工作顺序和操作内容能自然地适应工作环境的变化。目前已开发出的各种各样的传感器可分为内部传感器和外部传感器两大类。内部传感器用于监测和控制智能机器人自身，外部传感器安装在智能机器人上，用于感知外部环境信息。

内部传感器有特定位置角度传感器、任意位置角度传感器、速度角速度传感器、加速度传感器、倾斜角传感器、方位角传感器等。外部传感器有视觉传感器、触觉传感器、力觉传感器、接近觉传感器、平衡觉传感器等。另外，对于实现像家庭的智能安防等功能，智能机器人实际上也用到了一些传感器的功能。例如，无线火灾烟雾传感器是一种在消防管理、安全防范系统中常用的报警器材，它工作可靠、体积小，并且把无线发射和火灾烟雾传感器有机地结合起来；在电子防盗、人体探测器领域中，被动式热释电红外探测器的应用非常广泛，这种传感器的红外感应源通常采用热释电元件，这种元件在接收到人体红外辐射温度发生变化时就会失去电荷平衡，向外释放电荷，后续电路经检测处理后就能产生报警信号。由此可见，传感器技术的发展对于智能机器人的应用和发展都起到了至关重要的作用。

### 1.3.3 智能控制技术

智能控制是具有智能信息处理和智能信息反馈以及智能控制决策的控制方式，是控制理论发展的高级阶段，主要用来解决那些用传统方法难以解决的复杂系统的控制问题。智能控制研究对象的主要特点是具有不确定的数学模型、高度的非线性和复杂的任务要求。现在实用的控制方法有多级递阶智能控制，基于知识的智能控制、模糊控制、神经控制，基于规则的仿人智能控制，基于模式识别的智能控制和混沌控制等。目前，在智能机器人