

自律型 机器人制作入门 ——基于Arduino

程 晨 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



CD-ROM INCLUDED

自律型机器人制作入门 ——基于 Arduino

程 晨 编著



YZLI0890173406

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书基于开源硬件思想,完全公开各个结构件的外观尺寸,控制板基于开源硬件领域内广泛使用的 Arduino,采用在 Arduino 之上又封装了一层硬件接口的 Dreamer,使得硬件模块的连接更加方便、简单。本书是关于 Dreamer 控制板的第一本书,内容循序渐进,图文并茂。从最基础的控制电机和舵机开始,详细介绍了简单自律机器人的制作方法,包括轮型机器人和关节型机器人两种类型。读者可以购买相应的套件组装,也可以自己动手制作。

本书适合所有想自己制作一个机器人的朋友,无论你在电子硬件方面是什么水平,只要动手跟着书中的内容一步一步进行,都能够完成一个简单的自律型机器人。随书光盘中包含了所有的程序代码。

图书在版编目(CIP)数据

自律型机器人制作入门:基于 Arduino / 程晨编著

—北京:北京航空航天大学出版社,2013.1

ISBN 978-7-5124-1006-0

I. ①自… II. ①程… III. ①机器人—制作 IV.
①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 265140 号

版权所有,侵权必究。

自律型机器人制作入门——基于 Arduino

程 晨 编 著

责任编辑 何 献 王国兴

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:13.5 字数:288 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1006-0 定价:35.00 元(含光盘 1 张)

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

随着 Arduino 的出现,开源硬件的思潮得到了迅猛的发展,无论是否了解电子硬件,在开源硬件的环境中都能够很快地制作出几个电子产品。2012 年是中国机器人制作以及电子产品 DIY 制作普及的一年,在各种创客活动中看到了许多各式各样的机器人,这些创客很多都没有电子硬件背景,但他们通过简单学习同样能够制作出非常有意思的电子产品和机器人。对于喜好机器人以及机器人技术的人来说,除了希望看到各种机器人所实现的功能及其构造外,更想参与到机器人的设计与制作中。如果你不知道从哪里开始,那么就让这本书带你走入机器人制作的世界吧!

本书基于开源硬件思想,完全公开各个结构件的外观尺寸,控制板基于开源硬件领域内广泛使用的 Arduino,采用在 Arduino 之上又封装了一层硬件接口的 Dreamer,使的硬件模块的连接更加方便、简单。

结构安排

本书是关于 Dreamer 控制板的第一本书,依托于自律型机器人的 3 个基本要素:感知、动作以及智能,从最基础的控制电机和舵机开始,按照控制板应用、结构组装、行为实现的结构逐步展开,讲述的是简单自律机器人的制作方法,包括轮型机器人和关节型机器人两种类型,它们能够完成各种基本自律行为。这些内容都是完全开源的,无论你在电子硬件方面是什么水平,只要动手跟着书中的内容一步一步进行,都能够完成一个简单的自律型机器人。读者可以购买相应的套件组装,也可以自动动手制作。随书光盘中包含了所有的程序代码。

第 1 章和第 2 章简单介绍了一下自律机器人以及机器人运动的相关内容,包括自律机器人的要素、机器人运动方式以及直流电机、舵机的工作原理。

第 3 章着重介绍了 Arduino 及 Dreamer 板的使用,包括开发环境的使用、程序的结构以及对直流电机和舵机的控制等。

第 4 章着重介绍了各种传感器的使用。通过这些传感器,机器人就能够感知周围的环境。

第 5 章和第 6 章属于轮型机器人的制作,包括底盘结构以及各种自律行为的实现,主要有避障行为、归航行为、沿墙行走行为等。

第7章和第8章属于关节型机器人的制作。第7章主要介绍了关节型机器人的腿部关节制作以及多种多足机器人的结构和步态;在第8章以最基本的六足爬虫机器人为例,实现了关节型机器人的寻光、爬坡和陡沿等行为。

第9章是将轮型机器人和关节型机器人结合后的复合型机器人制作,通过在轮型机器人底盘上安装关节型动作的舵机,我们发现这类机器人的应用前景非常广阔,目前较为成熟的机器人产品都是采用这种方式。

现在越来越多的事情可以由机器人来完成,然而,几乎每种类型的机器人都只能在给它设定好的环境中才能完成自己的任务。机器人的研究仍然有很长的路要走,如何才能赋予机器人真正的智能,目前来看还有很多的问题有待解决。但终有一天,机器人会拥有真正的智能,它的功能会超出我们的想象。

致 谢

首先要感谢本书的编辑,是他对 Arduino 以及机器人制作的关注促成了这本书的出版,同时在本人撰写书稿时也对本书提出了宝贵的建议,并对书稿进行了仔细的审阅。

其次要感谢 DFRobot 公司,这是国内品种较齐全的开源硬件、Arduino、传感器及机器人配件提供商,提供了大量的支持,包括硬件、技术、资料、图纸等方面。

在书稿完成之后,笔者心中一直非常忐忑,虽然在电子硬件方面有一些积累,但机器人制作是一个偏重于结构设计的工作,几乎每种类型的机器人都只能在设定好的环境中才能完成自己的任务,一些任务既可以通过编程完成也可以通过巧妙的结构设计完成,而一些任务就必须要有对应的结构来完成,大家能看到许多玩具机器人虽然控制简单,但是很有趣,感觉上也很智能。这些内容正是笔者欠缺的,虽然之后阅读了不少关于机器人制作的书籍,但水平还是有限,所以拙著中一定存在不少的缺陷和遗漏,为此,笔者先为书中的不足之处致以真诚的歉意。

最后要感谢现在正捧着这本书的您,感谢您肯花费时间和精力阅读本书,诚恳地希望您批评指正,您的意见和建议将是巨大的财富。希望在 Arduino 以及机器人制作的领域结识更多的朋友。

目前本人固定参加的创客活动有星期三晚上的 C2D2 和星期四晚上的 Open-Drone(www.open-drone.org),这里有很多新奇的电子作品和有着各式各样想法的人,如果您在制作机器人的过程中有什么问题,也欢迎到这里来,每一个创客都会很热心的帮助解决您所遇到的问题。

有兴趣的读者可以发送电子邮件到:chenille@126.com,与作者进一步沟通;也可以发送电子邮件到:xdhydc5@sina.com,与本书策划编辑联系。

作 者
2012 年 11 月



录

第 1 章 了解机器人	1
1.1 什么是机器人	1
1.1.1 机器人名字的由来	1
1.1.2 广义机器人的定义	3
1.2 机器人的种类	5
1.2.1 操作型机器人	5
1.2.2 程控型机器人	5
1.2.3 示教再现型机器人	5
1.2.4 感觉控制型机器人	5
1.2.5 学习控制型机器人	5
1.2.6 智能机器人	5
1.3 自律型移动机器人	6
1.3.1 感 知	6
1.3.2 动作与结构	6
1.3.3 智 能	7
1.4 小 结	7
第 2 章 机器人的运动	8
2.1 机器人运动的环境	8
2.1.1 机器人所处的环境	8
2.1.2 开环控制与闭环控制	9
2.2 机器人运动的方式	9
2.2.1 机器人的尺寸和重量.....	10
2.2.2 车轮和履带.....	10
2.2.3 关节型机器人.....	11
2.3 直流电机.....	11
2.3.1 直流电机的工作原理.....	11
2.3.2 直流电机的控制方式.....	13
2.3.3 直流电机的选择.....	14
2.3.4 电机输出轴.....	16

2.3.5	联轴器的使用	17
2.3.6	直流电机的安装	18
2.4	舵机	19
2.4.1	舵机的工作原理	19
2.4.2	舵机的控制方式	19
2.4.3	舵机的选择与安装	20
2.4.4	舵机的改装	21
2.5	小结	24
第3章	控制板的使用	25
3.1	开源硬件控制板	25
3.1.1	什么是开源硬件	25
3.1.2	Arduino 是什么	25
3.1.3	控制板 Dreamer	27
3.1.4	Dreamer 的外形尺寸	27
3.1.5	Dreamer 的原理图	29
3.1.6	Dreamer 的硬件接口	31
3.2	Dreamer 的开发环境	33
3.2.1	新硬件的添加	34
3.2.2	开发环境的设置	37
3.2.3	开发环境的应用	38
3.3	程序的 3 种基本结构	41
3.4	C 语言的标识符与关键字	42
3.5	控制语句	46
3.5.1	if 语句	46
3.5.2	switch 语句	47
3.5.3	while 语句	48
3.5.4	do-while 语句	49
3.5.5	for 语句	49
3.5.6	break 语句	50
3.5.7	continue 语句	50
3.5.8	goto 语句	50
3.6	对象和类	51
3.6.1	类的定义	51
3.6.2	对象的创建及成员函数的调用	52
3.6.3	对象的初始化和构造函数	53

3.6.4	函数的重载	54
3.6.5	析构函数	55
3.6.6	开发环境中的库文件	55
3.7	图形化的编程工具 Ardublock	55
3.7.1	Ardublock 的添加	56
3.7.2	Ardublock 的使用	57
3.8	Dreamer 中直流电机的控制	61
3.8.1	直流电机驱动板	61
3.8.2	简单的直流电机控制	62
3.8.3	Dreamer 接口的宏定义	65
3.8.4	直流电机的调速	66
3.8.5	Motor 类的建立	68
3.8.6	Motor 类的使用	72
3.9	Dreamer 中舵机的控制	72
3.9.1	Servo 类	73
3.9.2	舵机扩展板	74
3.9.3	Servo 类的使用	74
3.10	小 结	75
第 4 章	感知周围的环境	76
4.1	红外接近开关	76
4.1.1	器件介绍	76
4.1.2	性能指标	77
4.1.3	传感器的连接	77
4.1.4	器件的使用	78
4.2	红外测距传感器	79
4.2.1	器件介绍	79
4.2.2	性能指标	80
4.2.3	传感器的连接	81
4.2.4	传感器的使用	82
4.3	寻线传感器	83
4.3.1	器件介绍	83
4.3.2	器件的使用	84
4.4	超声波测距传感器	84
4.4.1	器件介绍	84
4.4.2	性能指标	84

4.4.3	传感器的连接	86
4.4.4	传感器的串口模式	87
4.4.5	传感器的脉宽模式	89
4.4.6	使用测距传感器的说明	90
4.5	环境光和声音传感器	91
4.5.1	环境光传感器的介绍	91
4.5.2	环境光传感器的连接和使用	91
4.5.3	声音传感器	92
4.6	加速度传感器	93
4.6.1	MMA7361 加速度传感器	93
4.6.2	器件指标	94
4.6.3	传感器的连接	94
4.6.4	传感器的使用	94
4.6.5	ADXL345 加速度传感器	96
4.6.6	传感器的连接	97
4.6.7	Wire 类	97
4.6.8	传感器的使用	99
4.7	传感器认证	101
4.8	小结	102
第 5 章	轮型机器人底盘结构	103
5.1	直流电机与车轮	103
5.2	万向轮与电池盒	105
5.3	底盘制作	106
5.3.1	底板的设计	106
5.3.2	底盘的安装	106
5.4	控制器的安装	112
5.5	轮型机器人的移动	113
5.5.1	控制板的连接	113
5.5.2	简单的移动	114
5.5.3	扩展板的连接	115
5.6	利用舵机制作轮型机器人底盘	116
5.6.1	舵机支架	116
5.6.2	舵机的安装	117
5.6.3	舵机的控制	118
5.7	小结	120

第 6 章 轮型机器人的行为	121
6.1 行为的分类	121
6.1.1 伺服行为和弹道式行为	121
6.1.2 伺服行为样例	122
6.1.3 弹道式行为样例	123
6.2 基于差分传感器的归航行为	124
6.2.1 寻光归航行为	124
6.2.2 其他归航行为	126
6.3 基于整体状态的归航行为	128
6.3.1 行为描述	128
6.3.2 行为的实现	130
6.3.3 额外说明	131
6.4 基于差分传感器的避障行为	133
6.4.1 行为描述	133
6.4.2 行为的实现	133
6.4.3 峡谷效应	134
6.4.4 消除峡谷效应	135
6.5 基于测距传感器的沿墙行走行为	137
6.5.1 沿墙行走行为	137
6.5.2 测距传感器的安装	138
6.5.3 行为实现	139
6.5.4 距离保持随动行为	140
6.5.5 基于接近传感器的沿墙行走行为	142
6.6 限界行为和陡沿行为	142
6.6.1 限界行为	142
6.6.2 陡沿行为	143
6.7 抖动问题	143
6.7.1 抖动现象	143
6.7.2 循环诊断行为	144
6.7.3 查表方法	144
6.8 区域覆盖	144
6.8.1 确定性覆盖	144
6.8.2 随机覆盖	145
6.9 小 结	146

第 7 章 多足机器人结构	147
7.1 静平衡和动平衡	147
7.1.1 动平衡	147
7.1.2 静平衡	147
7.2 舵机轴的支撑和受力	148
7.3 腿部关节的制作	148
7.3.1 舵机的调整	148
7.3.2 腿的基本结构	149
7.3.3 昆虫腿的布局	152
7.3.4 哺乳动物腿的布局	153
7.4 步态	154
7.4.1 步态的相关定义	154
7.4.2 哺乳类四足动物的步态	155
7.4.3 六足昆虫的步态	156
7.5 触觉反馈	158
7.6 双足机器人	159
7.6.1 器材列表	159
7.6.2 双足的组装	160
7.7 小结	163
第 8 章 六足爬虫的行为	164
8.1 硬件结构的组装	164
8.1.1 硬件部件的安装	164
8.1.2 控制端口的分配	166
8.2 基本移动动作	167
8.2.1 腿的初始位置	167
8.2.2 腿的抬起放下	170
8.2.3 前进后退	171
8.2.4 单侧转向	174
8.2.5 原地转向	175
8.3 寻光归航行为	177
8.4 爬坡行为	179
8.5 陡沿行为	180
8.6 小结	182
第 9 章 复合型轮型机器人	183
9.1 水平摆动单自由度复合型机器人	183

9.1.1 安装水平摆动舵机	183
9.1.2 安装测距传感器	184
9.2 雷达扫描功能	184
9.2.1 功能描述	184
9.2.2 功能实现	185
9.2.3 数据的平滑处理	187
9.2.4 雷达功能的增强	188
9.3 基于雷达扫描的避障行为	189
9.3.1 功能描述	189
9.3.2 行为实现	189
9.4 垂直摆动单自由度复合型机器人	191
9.4.1 安装舵机支架	191
9.4.2 安装垂直摆动舵机	192
9.4.3 安装摆臂	192
9.5 相扑机器人	193
9.5.1 机器人相扑比赛	193
9.5.2 机器人相扑的特点	194
9.5.3 相扑机器人臂结构	195
9.6 小 结	196
附录 A 结构图纸一览表	197
附录 B Gadgeteer 规范中接口的定义	198
附录 C 运算符操作顺序	200
附录 D 一些其他 Gadgeteer 模块	201
参考文献	203

第 1 章

了解机器人

2012 年是中国的机器人制作以及电子产品 DIY 制作普及的一年,在春节联欢晚会上有一个创意节目叫《机器人总动员》,接着 4 月在深圳由柴火创客空间和《无线电》杂志举办了国内首个 Mini Maker Faire(制汇节),五一在北京由北京创客空间、中华世纪坛数字艺术馆以及中央美术学院联合举办了中国首届创客嘉年华(Maker Carnival),11 月在上海再次举办了一次上海创客嘉年华。在这里我们看到了许多各式各样的机器人,对于喜好机器人及机器人技术的人来说,除了希望看到各种机器人所实现的功能及其构造外,更想参与到机器人的设计与制作中。但是现在电子技术的发展日新月异,各种控制器、传感器层出不穷,让许多想踏入机器人制作的人感到一头的雾水,不知道从哪里开始。那么就让这本书带你走入机器人制作的世界吧!

1.1 什么是机器人

1.1.1 机器人名字的由来

机器人的概念是 20 世纪出现的新名词。1920 年,捷克剧作家 Capek 在他的幻想剧《罗萨姆万能机器人公司(R. U. R)》中,第一次提出了机器人(robot)这个词。该剧讲述了机器人的发展对人类社会的悲剧性影响,引起了大家的广泛关注,被当成了机器人一词的起源。剧中,机器人按照其主人的命令默默地工作,没有感觉和感情,以呆板的方式从事繁重的劳动。后来,罗萨姆公司取得了成功,使机器人具有了感情,导致机器人的应用部门迅速增加。在工厂和家务劳动中,机器人成了必不可少的成员。机器人发觉人类十分自私和不公正,终于造反了,机器人的体能和智能都非常优异,因此消灭了人类。图 1.1 就是当年《罗萨姆万能机器人公司》中机器人的样子,在今年美国旧金山湾区的 Maker Faire 上又出现了这个机器人的身影,如图 1.2 所示。

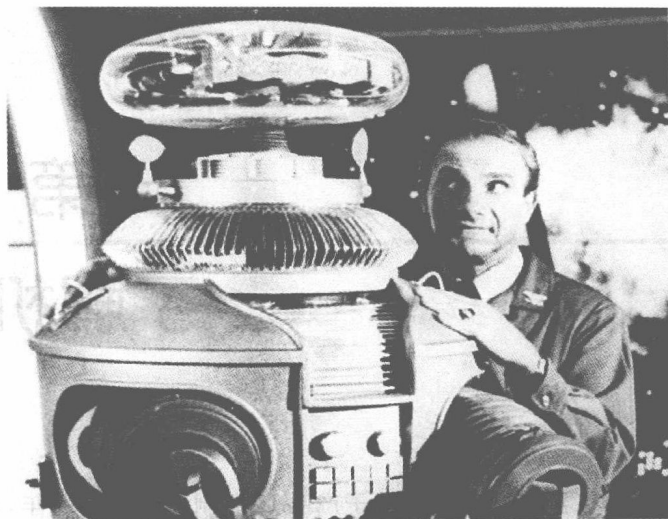


图 1.1 罗萨姆万能机器人公司中的机器人

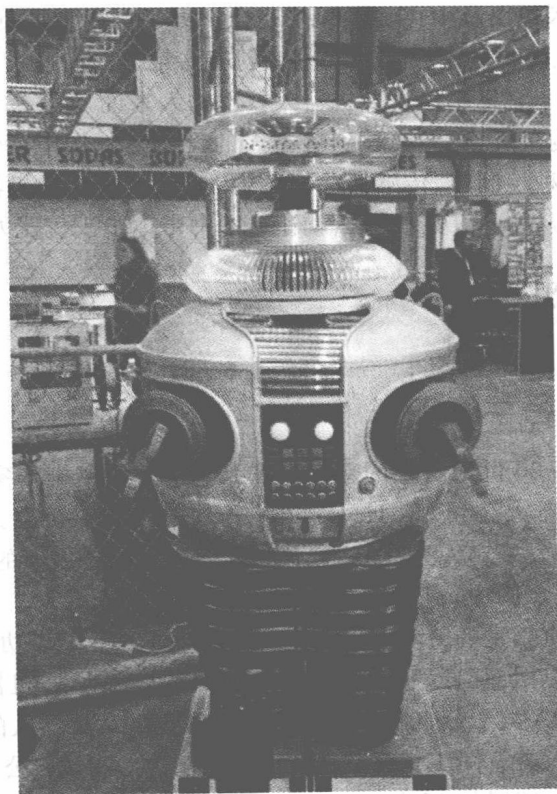


图 1.2 美国 Maker Faire 上的机器人

robot 是由 robota 一词演变而来的,在捷克语中有 robota 以及 robotonic 的单词,分别意指“奴隶”和“劳动者”。新词 robot 则意指“用人手创造的劳动者”,后来 robot 又演变为“代替人干活的机器”、“机器奴隶”之意。Capek 在 20 世纪工业革命后技术和生产快速发展的背景下,造出具有“机器奴隶”含义的新词 robot 反映着人类希望制造出像人一样会思考,能劳动的机器代替自己工作的愿望。但在当时,机器人一词也仅仅具有科幻意义,并不具备现实意义,真正使机器人成为现实是 20 世纪工业机器人出现以后。

1.1.2 广义机器人的定义

虽然现在机器人的名字已经进入了千家万户,但对于机器人的定义仍然没有一个统一的意见。机器人中包含了一个“人”字就使得这其中包含了很多人的感情因素,就像机器人一词最早诞生于科幻小说之中一样,人们对机器人充满了幻想和期待。也许正是由于机器人定义的模糊,才给了人们充分的想象和创造空间。现在随着机器人技术的飞速发展和信息时代的到来,机器人所涵盖的内容越来越丰富,机器人的定义也不断充实和创新,新的机型、新的功能不断涌现。

简单地说,或者说从广义的角度来讲,机器人(Robot)就是一个自动执行工作的机器装置,即“代替人干活的机器”、“机器奴隶”之意。它既可以接受人类指挥,又可以运行预先编排的程序,也可以根据以人工智能技术制定的原则纲领行动;它的任务是协助或取代人类的工作或是完成一些危险的人类无法完成的工作。也许有人认为,机器人应该像一个人,有四肢、眼睛、嘴巴等,其实这是错误的。实际上,只要是能自主完成人类所赋予任务与命令的机器,就属于机器人大家族里的成员。机器人技术涉及控制论、机械电子、计算机、现代微电子技术、材料和仿生学多个领域。美国机器人协会给机器人下的定义是:“一种可编程和多功能的操作机;或是为了执行不同的任务而具有可用计算机改变和可编程动作的专门系统。”其在工业、医学、农业、建筑业甚至军事等领域中均有重要用途。

图 1.3~图 1.6 是近几年生活当中比较有名的机器人。

图 1.3 是好奇号火星探测机器人,它在经历了数亿公里的星际旅行之后于北京时间 2012 年 8 月 6 号在火星着陆。它是美国第 4 个火星探测器,也是第一辆采用核动力驱动的火星车,其使命是继续探测火星上是否存在水和生命,并分析其物质成分,以推断火星能否通过改造适合生命生存。其使用 6 个轮子当腿在火星上运动,同时还具有一个与人肩、肘和腕关节类似的“手臂”结构,以采集火星上的岩土进行分析。

图 1.4 是日本索尼公司推出的犬型机器人爱宝(AIBO),其体积和小狗差不多大,能模仿狗的动作,能识别主人的声音和外貌,对简单的词语也有反应,喜怒哀乐都有表情。从此娱乐机器人成为目前机器人迈进普通家庭的途径之一。

图 1.5 是军用的排爆机器人。排除爆炸物机器人有轮式的和履带式的,一般体

积不大,转向灵活,便于在狭窄的地方工作,操作人员可以在几百米到几公里以外通过无线电或光缆控制其活动。机器人车上一般装有多台彩色 CCD 摄像机来对爆炸物进行观察;一个多自由度机械手,用它的手爪或夹钳可将爆炸物的引信或雷管拧下来,并把爆炸物运走。

图 1.6 是本田公司 ASIMO 机器人,其被誉为全球最先进的类人型机器人,具有像人一样的移动行走能力,还能够以每小时 6 公里的速度奔跑,并能在奔跑过程中自行改变方向。ASIMO 的全身各部位具有极高的平衡性和协调性,能够随着音乐翩翩起舞。而推车前进、搬运托盘更是 ASIMO 在利用工具与人协调方面让其他机器人望尘莫及。此外,ASIMO 拥有的声音识别、姿势和动作识别、面部功能识别等强大功能让它能够与人类很好地进行信息交流。

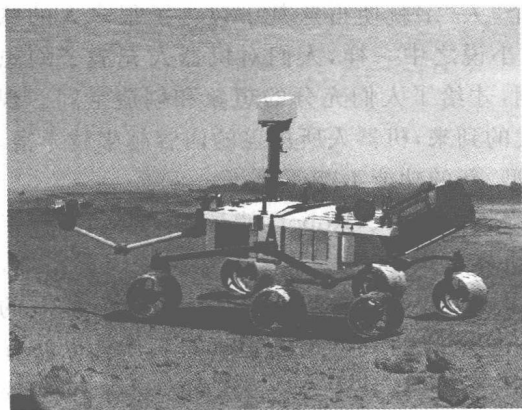


图 1.3 好奇号火星探测机器人

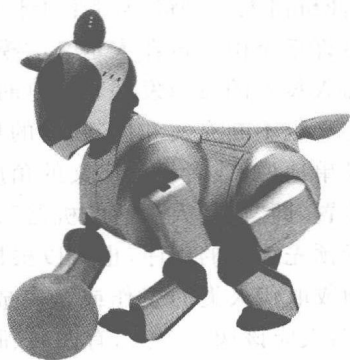


图 1.4 犬型机器人爱宝(AIBO)

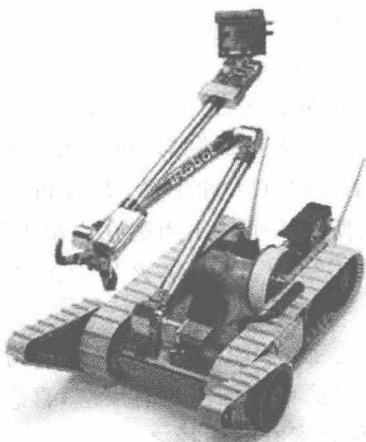


图 1.5 排爆机器人

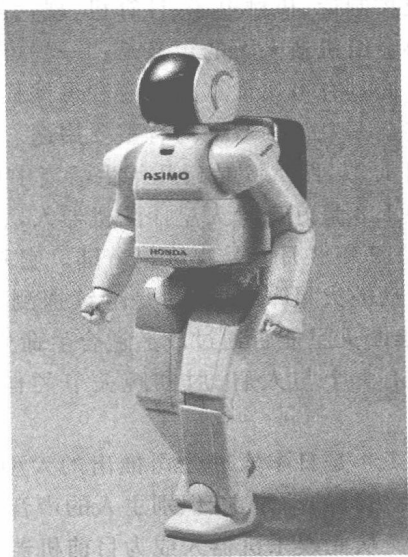


图 1.6 本田公司 ASIMO 机器人

1.2 机器人的种类

关于机器人的分类也没有一个统一的标准,有的按负载重量分,有的按控制方式分,有的按自由度分,有的按结构分,有的按应用领域分。由于本书主要讲述自律型机器人制作,所以按照机器人的智能程度来分,一般分为以下几类:

1.2.1 操作型机器人

由操作者根据实际的情况控制机器人的动作来完成相应的任务,机器人本身没有智能程度,仅仅是将操作者的指令转化成具体的机械动作。上节中的排爆机器人就属于操作型机器人的范畴。

1.2.2 程控型机器人

机器人按照预先设计好的动作要求及顺序,依次控制机械结构动作,并能够自动重复执行。

1.2.3 示教再现型机器人

由操作者控制机器人完成一遍应当执行的动作,在动作执行过程中机器人会自动将这一过程记录下来。当机器人单独工作时,能够再现操作者教给它的动作,并能自动重复执行。

1.2.4 感觉控制型机器人

这类机器人对外界环境有一定的感知能力,具有听觉、视觉、触觉等功能。机器人工作时,根据感觉器官(传感器)获得信息,控制机器人的动作,调整自己的状态,保证在适应环境的情况下完成工作。上节中的火星探测机器人就属于较为复杂的感觉控制型机器人。

1.2.5 学习控制型机器人

学习控制型机器人同样也具有一定的感知能力,能够根据感觉器官获得的信息控制自身的动作,但它具有一定的学习能力,能够在工作当中记录一些信息、“总结”一些“经验”,并将这些内容应用于以后的工作中。上节中的犬型机器人爱宝就属于学习控制型机器人,能够在工作当中记录、识别主人的声音和外貌,并与主人互动。

1.2.6 智能机器人

智能机器人是依靠人工智能技术决策行动的机器人,它们的感觉器官更多更灵敏,能够根据感受到的信息,进行独立思考、识别、推理,并做出判断和决策,不用人的