

机器人学权威专家Maja J. Mataric教授倾力编写，
成就一本轻松易懂、内容丰富的机器人宝典！



[美] Maja J. Mataric 著

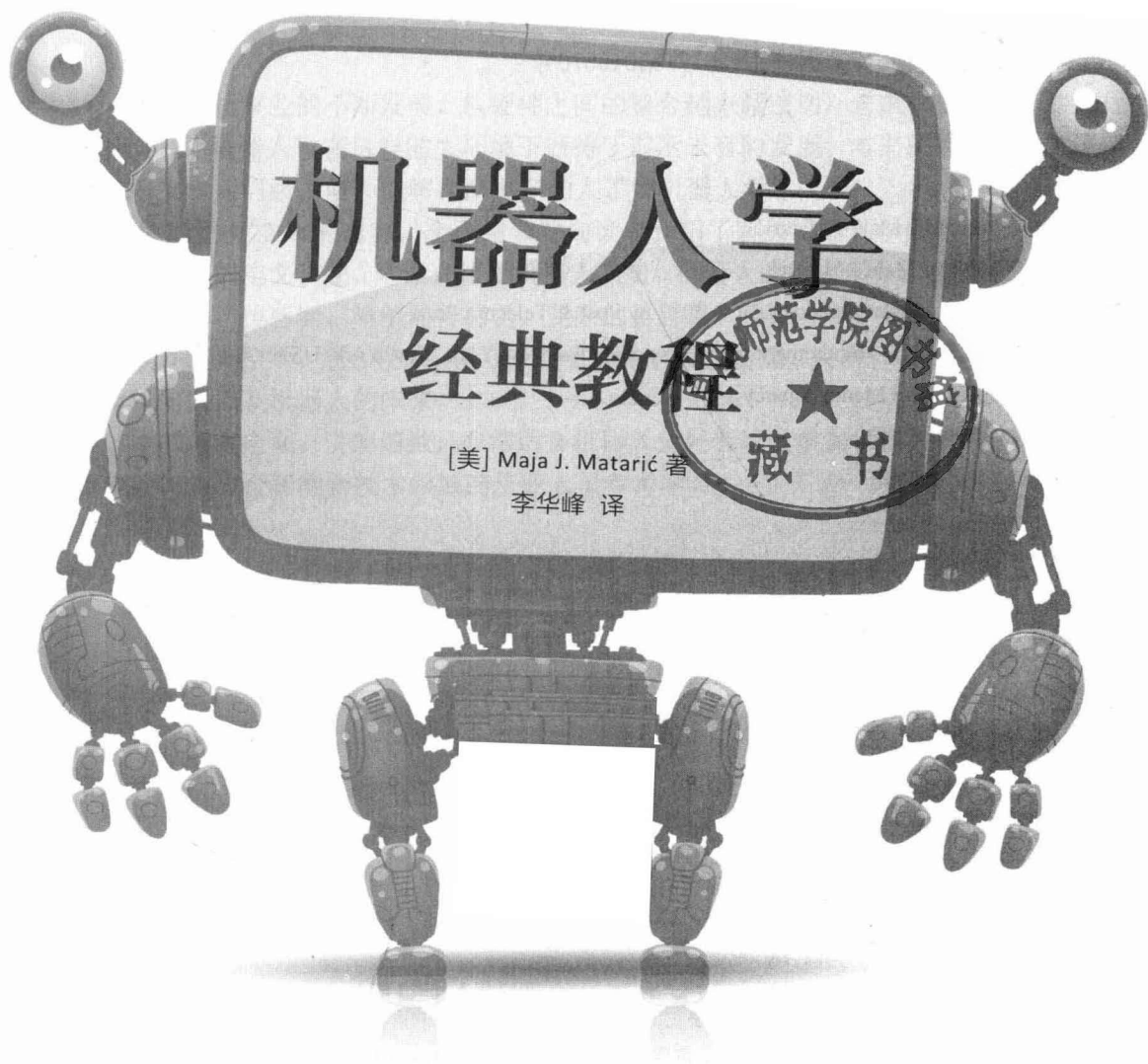
李华峰 译



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

机器人学经典教程 / (美) 马娅·马塔里奇著 ; 李
华峰译. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2017. 5
ISBN 978-7-115-44983-2

I. ①机… II. ①马… ②李… III. ①机器人学—教
材 IV. ①TP24

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第045670号

版 权 声 明

The robotics primer by Maja J Matarić

Copyright © 2007 by Maja J Matarić

Simplified Chinese translation copyright © 2017 by Post & Telecom Press

This edition published by arrangement with Perseus Books, New York, New York, USA
through Bardon-Chinese Media Agency

博达著作权代理有限公司

ALL RIGHTS RESERVED

-
- ◆ 著 [美] Maja J. Matarić
译 李华峰
责任编辑 胡俊英
责任印制 焦志炜
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 14
字数: 295 千字 2017 年 5 月第 1 版
印数: 1—2 500 册 2017 年 5 月北京第 1 次印刷
- 著作权合同登记号 图字: 01-2016-1422 号
-

定价: 69.00 元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

内容提要

随着科技事业的不断发展，软硬件之间的整合越来越密切，未来社会是属于智能化的社会，而机器人也在这样的大环境下获得了前所未有的发展。本书就是一本非常通俗的机器人学入门级指南，能够帮助更多的人了解机器人学。

本书通过 22 章的内容，全面细致地向读者介绍了有关机器人学的相关知识。本书从机器人学的定义讲起，陆续介绍了机器人简史、机器人的组成部分、效应器和执行器、运动、操作、传感器、简单的传感器、复杂的传感器、反馈控制、控制架构、表示、审慎控制、反应控制、混合控制、基于行为的控制、行为协调、突现行为导航、群机器人、优化机器人以及机器人的未来。

本书内容全面、讲解细致，非常适合机器人爱好者以及参加机器人比赛的老师和学生阅读，也适合智能新技术领域的从业人员参考学习。

译者序

也许每个人都曾有过一个机器人梦，在梦中我们或者在和汽车人一起并肩作战，或者穿上了钢铁侠的盔甲在天空中飞翔，又或者被终结者追的四处逃命。这些影视作品中的机器人角色一直陪伴着多数人走过了童年。

多年以来，我们中的很多人都将机器人看作是人类的未来。在几百年或者可能几十年以后，机器人将会代替人类完成所有繁重的劳动，它们会在工厂生产，会在田地里耕种，会在灾难现场救生，甚至代替人们在战场上进行战斗。而现在的一切也都在这样发展着，机器人走进人类社会，代替人们的工作似乎已经指日可待。这看起来十分完美。

是的，未来机器人会让我们每个人都变成可以飞翔、可以举起几千斤的重物，或者可以通晓世界各国的语言，甚至可以深入海底、可以飞出地球的超人。渐渐地我们都已经习惯了影视作品中的那个会说、能看，甚至会生气的机器人了。而且这一切似乎是顺其自然，在大多数人的心目中，这一天的到来只是时间问题了。

直到有一天，我的儿子突然问我：“爸爸，机器人能看见东西吗？”

“当然能！”

“可是它们是怎么看见的呢？”

我当然想说是传感器让它看见的，可是该如何向一个几岁的孩子来解释传感器是什么呢？此时，我突然间发现，如果能有一本孩子也能读懂的机器人方面的图书就好了。一直以来，我们国内图书的问题很大程度在于，凡是考试的知识都过于教条化而缺乏趣味，凡是不考试的知识又都过于娱乐化而缺乏严谨，也许这才是在国内译著十分受欢迎，而著作却少有人问津的原因。因此，我也一直都在寻找一本可以让大多数人都可以读懂，同时内容又十分严谨的计算机方面的书。

就在 2016 年上半年的时候，人民邮电出版社的编辑胡俊英联系到了我，希望我能完成这本书的翻译工作。起初对于这本书，我是充满了敬畏，这是一本详细地讲述了机器人技术的图书，书中几乎涵盖了机器人学中的所有问题，作者 Maja J. Matarić 是美国机器人方面的权威人士。可以这样说，书中很多章节的内容都可以成为一篇专业的学术论文。最为难能可贵的是，Maja J. Matarić 女士在编写此书的时候，语言极为亲切，读她的作品就如同一位平易近人的长者站在你面前向你娓娓道来一个有趣的故事一般。可惜本人水平有限，翻译之时恐怕精髓连原著的十之一二都不到，这一点实在是汗颜。

另外，在本书的翻译过程中，也发生了一件对我产生了极为重大影响的事情。我发

现年迈的母亲再也无法像正常人那样行走了，于是我花了大量的时间在互联网上搜索，试图找到一个可以使老年人正常行走的机械。然而让人失望的是，现在的机器人研究更多的是让正常人生活得更好，而不是让更多需要帮助的人能像正常人一样生活。也许利用机器人技术去帮助有困难的人才才是更重要的事情。

本书的读者可能都立志将来要在机器人领域取得成就，欢迎你能和我共享成功路上的点滴。感谢人民邮电出版社的编辑胡俊英，在本书编写的这段时间里始终支持我的写作，你的鼓励和帮助引导我能顺利翻译完成全部书稿。

最后，感谢我的母亲，是她将我培养成人，并在人生的每一个关键阶段给予我帮助。感谢我深爱的妻子，我可爱的儿子，感谢你们在我翻译本书的时候，给我无条件的理解和支持。

——李华峰，2017年3月

序

自从我在 1997 年进入南加利福尼亚大学，成为计算机科学系的助理教授之后，我设计了一系列关于介绍机器人的课程 (<http://www-scf.usc.edu/~csci445>)。这门课程的亮点在于采用了大量的乐高机器人实验、团队合作开发的模式，以及在加利福尼亚科技中心举行的学期末竞赛。为了方便学生们学习，我在互联网上发布了上课使用的课堂讲稿，多年以来，越来越多来自世界各地的教师开始联系我，希望将这些内容应用到他们的课程上，并希望可以获得更详细的材料。在 2001 年，我晋升为副教授之后不久，那时我正在期待我第二个孩子的诞生，也许是受到了这些事情的影响，我突然有了一个想法，为什么不将所有的这些课程的笔记整理成一本书呢？

就在我开始将课上的讲课笔记转化为书的章节部分时，我意识到这其实是一个真正的挑战。我将这本书的读者定位为中小學生、大学生以及那些希望更进一步的机器人技术爱好者。我希望无论是一个小学生，还是一个博士，无论是少年，还是已经退休的老人，都可以流畅地阅读本书。但实际上这是相当不易的。

我之所以产生这个想法主要是因为机器人学是一个美妙的研究领域。我不是一个典型的工程师，在童年时代，我并没有热衷于使用旧手表和收音机的零件在地下室里制造机器人，相反我对艺术和时尚设计更感兴趣。我在大学时主修计算机科学，通过课外阅读，发现了机器人学这个学科。不过，在堪萨斯大学并没有机器人学的课程。进入麻省理工学院开始攻读硕士学位之后，我选择了机器人学作为研究方向。我读博士时的导师 Rodney Brooks，他在讲授机器人学时就引入了很多有趣的内容，这本书的目标就是向不同的读者展示各种有趣的案例。这是因为机器人学的内容是具有挑战性的，同时也是令人难以置信的有趣。

智能设备的创造可以点燃我们的想象力、创造力和改变世界的希望。机器人技术将会在未来的人类世界起到关键的作用，我们目前正在世界各地的实验室和教室中谱写着未来。最重要的是，学生们如果能尽早地接触到机器人技术，就可以帮助他们建立一个更好的理解科学、技术、工程和数学的基础。我也乐于看到很多孩子在学校中从事机器人的学习，最好是从小学 5 年级开始（他们这时已经足够大了，其实再早一点也是可能的），一直到高年级继续学习。在机器人方面的学习可以开启学生的心智，并建立他们的信心，而这些对他们日后无论从事哪行哪业都是有益处的。如果没有这种乐趣，学生们经常会认为它们的学习是无趣的，或者是遥不可及的。本书的目标是在保持趣味、

引人入胜的同时讲述大量关于机器人和其潜力的真材实料。

其实我根本没有想到这本书的编写会花费如此长的时间，在我有了编写本书想法的时候，我的儿子还刚刚出生，而现在他已经 5 岁了。在我们的人生中，总有那么多的惊喜，以至于只有有限的时间去完成这本书的写作。最终，我意识到了一点，生活只会越来越忙碌，我永远不会有充足的时间去完成这本书，所以，时间只能靠挤，就这样我才完成了本书的编写。

在本书的漫长编写过程中，许多基础教育和大学教育的工作者为本书提供了精彩的建议，而我采纳了这些建议。一些学生和教师在使用本书的样稿进行教学的时候，指出了本书内容上的一些缺失。Marianna O'Brien 简直是一个天使，她花了一年多的时间对本书样稿进行阅读、校对，对本书做了大量的笔记，并提出了很多修改的建议，正是在她的帮助之下，我才成为了一个真正的大学教师，并完成了本书的编写工作。在这里我要对 Marianna 孜孜不倦的热情以及详细的、令人鼓舞的建议，致以最深的感谢！同样我还要感谢 Nate Koenig，他是我研究组中的一个博士生，他为本书的出版也做出了大量的工作。他设计了本书的样式，编写了本书的版权许可等内容，在过去的几个月中他与我一同完成了对本书大量的修改。所以，这本书整洁的外观都要归功于 Nate。

感谢 iRobot Corp 的 Helen Grainer 和 Rodney Brooks，是他们同意赞助建立一个与本书相配套的互联网机器人编程指南，你可以访问 <http://roboticsprimer.sourceforge.net/workbook> 来获得这个指南。另外，我和我的博士生 Nate Koenig 和 David Feil Seifer 在这个指南中提供了逐步的指导，例如练习和解决方案，使得本书的读者和任何对机器人感兴趣的人均可以了解到真正的机器人编程。

榜样的力量是无穷的。我的母亲，她编写了很多短篇小说、散文和诗歌，她所做的一切都给了我一个灵感，本书的目标之一就是希望所有年龄的人对机器人感兴趣，我们也可以创建很多的榜样，避免孩子在无知、压力和缺乏信息的情况下去学习机器人理论。

最后，我要感谢我的家人，是他们的包容才让我有了编写本书的时间。我的丈夫为我提供了精神上的支持，而且他总是用“我简直不敢相信你是如何做到的”来激励我。最后，我要感谢我的两个孩子，是他们激励着我完成本书的编写工作，很快他们也将是本书的读者。如果他们和他们的同龄人都因此觉得机器人学是一门很酷的科学（当然，他们的妈妈也很酷），然后打算在科学和工程领域进行创造性的工作，这将对本书的最大肯定。

Maja J Matarić, 2007 年 4 月于加利福尼亚

目 录

第 1 章	机器人学的定义	1
第 2 章	机器人简史	5
2.1	控制理论	5
2.2	控制论	5
2.2.1	“机械龟”	6
2.2.2	Braitenberg 的“车型机器人”	8
2.3	人工智能	9
第 3 章	机器人的组成部分	15
3.1	具身化	16
3.2	感知	16
3.3	行动	18
3.4	脑力和体力	19
3.5	自主	20
第 4 章	效应器和执行器	23
4.1	主动驱动与被动驱动	23
4.2	执行器的类型	24
4.3	电机	25
4.3.1	直流电机	25
4.3.2	齿轮装置	26
4.3.3	伺服电机	28
4.4	自由度	29
第 5 章	运动	35
5.1	稳定性	35
5.1.1	静态稳定性	37

5.1.2 动态稳定性	37
5.2 运动步态	38
5.2.1 步态	38
5.2.2 三角步态和交替三角步态	39
5.2.2 叠波步态	39
5.3 轮子和转向装置	40
5.3.1 完整性	41
5.3.2 差动驱动	41
5.4 停留在途中 vs 到达目的地	41
第 6 章 操作	45
6.1 末端效应器	45
6.2 遥操作	46
6.3 为什么操作是很困难的	47
第 7 章 传感器	53
7.1 处理层次	56
第 8 章 简单的传感器	63
8.1 主动型传感器与被动型传感器	63
8.2 开关	63
8.3 光学传感器	65
8.3.1 偏振光	66
8.3.2 反射式光传感器	67
8.3.3 反射光传感器	68
8.3.4 红外线	69
8.3.5 光的调制解调技术	70
8.3.6 光束中断传感器	70
8.3.7 转轴编码器	70
8.4 电阻位置传感器	73
第 9 章 复杂的传感器	75
9.1 超声波或声纳探测	75
9.1.1 声纳以前都做了什么? 声纳还能用在什么地方	77
9.1.2 镜面反射	78

9.2	激光传感	80
9.3	视觉感知	82
9.3.1	摄像机	83
9.3.2	边缘检测	84
9.3.3	基于模型的视觉	86
9.3.4	运动视觉	87
9.3.5	立体视觉	87
9.3.6	纹理、阴影、轮廓	88
9.3.7	生物视觉	89
9.3.8	机器人视觉	89
第 10 章	反馈控制	93
10.1	反馈控制或闭环控制	93
10.2	误差的诸多层面	94
10.3	一个反馈控制机器人的例子	95
10.4	反馈控制的类型	97
10.4.1	比例控制	97
10.4.2	微分控制	98
10.4.3	积分控制	98
10.4.4	PD 和 PID 控制	99
10.5	前馈或开环控制	100
第 11 章	控制架构	103
11.1	谁需要控制架构	103
11.2	机器人的编程语言	105
11.3	架构是什么	106
11.3.1	时间	107
11.3.2	模块化	107
11.3.3	表示	108
第 12 章	表示	109
12.1	制作地图的多种方法	109
12.2	机器人能表示什么	111
12.3	表示的开销	111

第 13 章	审慎控制	113
13.1	规划的概念	113
13.2	规划成本	115
第 14 章	反应控制	119
14.1	行动选择	123
14.2	包容式体系结构	124
14.3	如何确定行为的顺序	126
第 15 章	混合控制	131
15.1	处理世界/地图/任务的变化	133
15.2	计划以及重新计划	133
15.3	避免重新计划	133
15.4	在线以及离线规划	134
第 16 章	基于行为的控制	137
16.1	分布式表征	140
16.2	一个例子：分布式地图构建	141
16.2.1	机器人托托 (Toto)	141
16.2.2	托托的导航	141
16.2.3	托托的地标检测	142
16.2.4	托托的地图构建行为	143
16.2.5	托托行为地图中的路径规划	145
16.2.6	托托地图的后续工作	146
第 17 章	行为协调	151
17.1	行为仲裁：做出选择	151
17.2	行为融合：概括	152
第 18 章	突现行为	157
18.1	一个例子：突现的沿墙移动	157
18.2	整体大于各部分的总和	158
18.3	突现的组件	158
18.4	期待意想不到的事情	159
18.5	对惊喜的预测	159

18.6	好的与坏的突现行为	160
18.7	体系结构以及突现	161
第 19 章	导航	163
19.1	定位	164
19.2	搜索以及路径规划	166
19.3	定位与地图构建	167
19.4	覆盖	168
第 20 章	群机器人	171
20.1	团队合作的益处	172
20.2	团队合作的挑战	173
20.3	群体与团队类型	174
20.4	通信	176
20.5	让一个团队同场竞技	180
20.5.1	我是领导：集中控制	181
20.5.2	团队一起完成任务：分布控制	181
20.6	多机器人控制的架构	182
第 21 章	更上一层楼：学习	185
21.1	强化学习	186
21.1.1	探索	186
21.1.2	探索 vs 利用	186
21.1.3	控制策略	187
21.2	监督式学习	189
21.3	模仿学习/示范学习	190
21.3.1	人机交互	190
21.3.2	感受任务	192
21.4	学会与遗忘	193
21.4.1	遗忘	193
21.4.2	终身学习	194
第 22 章	机器人的未来	195
22.1	空间机器人	197

22.2	外科手术机器人	198
22.2.1	触觉学	198
22.2.2	纳米机器人	199
22.3	自重构机器人	199
22.4	人形机器人	200
22.5	社交机器人以及人机交互	200
22.6	服务机器人、行为辅助机器人以及康复训练机器人	201
22.6.1	服务机器人	201
22.6.2	行为辅助机器人	201
22.6.3	康复训练机器人	202
22.6.4	社会辅助机器人	202
22.7	教育机器人	203
22.7.1	STEM 课题	204
22.7.2	教育机器人	205
22.8	伦理意蕴	205

第1章 机器人学的定义

欢迎来到机器人启蒙的世界！在这里我首先要恭喜你，在对机器人的艺术、科学以及工程这些酷炫主题的研究上，你选择了一条十分精彩的道路。随着本书的开始，你即将踏上一个充满乐趣的旅程，而在这段旅程结束时，当电影和文章中出现有关机器人和动物的内容时，你将可以就其中的真实性分析得头头是道。你对此的深入见解会给身边的人留下深刻的印象，此外更难能可贵的就是，通过本书的阅读，你将会有能力更好地去开发和编程打造属于你自己的机器人。那么，还等什么呢？我们这就开始吧！

什么是机器人？

这是一个很关键的问题，到底什么是机器人，什么不是机器人，在过去它们是什么样子，在将来它们又会变成什么样子，在所有令人关注的科技领域中，对这些问题的认识还都存在着一些误区。随着时间的流逝，科学研究和技术的不断进步，关于机器人的定义也一直在改变着。在本章中，我们将会了解到现代机器人的定义。

“机器人”一词是随着捷克斯洛伐克剧作家 Karel Capek（发音为 Kha-rel Cha-pek）在 1921 年的剧作 *Rossum's Universal Robots* 而脍炙人口的。大多数的字典中都将 Capek 列为“机器人”一词的创造者。但是对此更多的非正式渠道（例如网络）却流传着另外一个版本，创造了这个词的其实是 Capek 的兄弟 Josef。当然，不管是他们兄弟中谁创造了“机器人”这个词汇，它们的灵感都是源于捷克语中的“rabota”。“rabota”一词在捷克语中的含义为“义务劳动”和盲目从命的人，也就是意指“农奴”。事实上，时至今日大多数的机器人确实在扮演着这样的角色，它们每天都在进行着重复而又固定的工作，例如完成汽车的装配，对 DNA 的测序等。不过，你很快就会看到，机器人所能胜任的工作要比这多得多。

关于机器人的想法，或者一些用来帮助人类的机器其实在 Capek 兄弟出生以前就存在了。由于在过去的时间里有太多聪明的工程师以各种不同的方式对这个问题进行过研究，实际上现在已经无从考证它的起源了。而这些形式一直都在演变着，随着科学技术的进步，以前很多关于机器人遥不可及的梦想在今天都成为了现实，或者已经指日可待。

随着科学技术的进步，关于机器人的概念也变得更加复杂了。在过去，机器人的定义仅仅是一个灵巧的机械设备。你可以在人类历史的漫长历程中找到这样的设备，甚至极为复杂的例子。早在 3000 多年以前，埃及人就开始使用人力控制雕像。而到了 17、18 世纪时，在欧洲出现了各种使用发条作为动力的傀儡。这些傀儡栩栩如生，它们可以写字、弹钢琴，甚至可以“呼吸”。但是正如我们所看到的一样，这些都不能算是真正的机器人，它们不符合我们目前对机器人的定义和理解。

虽然传统的机器人概念是指灵巧的机械自动化设备，但是随着计算设备的发展（尤其是这些设备的体积已经缩小到了足以装进机器人的体内时），现代机器人的概念已经开始涉及到了思维、推理、解决问题的能力，甚至情感和意识方面了。总之，机器人看起来已经越来越像从昆虫到人类这些真正的生物了。

如今我们对于这个问题有了更广泛的认识，从而不再拘泥于当前的机械能力和计算水平。然而，我们仍然难以想象随着科学和技术的进步，机器人到底会演变成什么样子。

所以现在回到我们最初的问题上来，到底什么是机器人呢？是什么使得图 1.1 中的机械成为了一个机器人呢，图 1.2 中的那些是伪机器人吗？

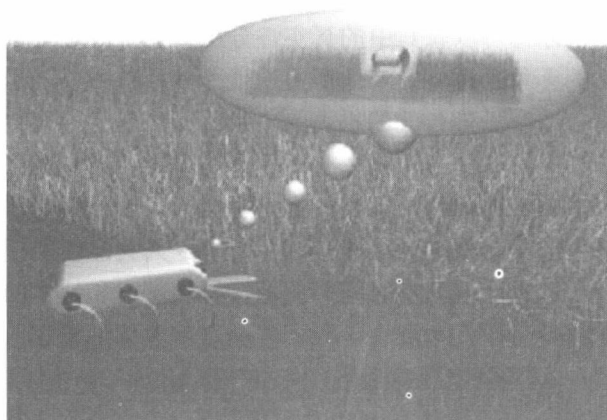


图 1.1 一个机器人的例子

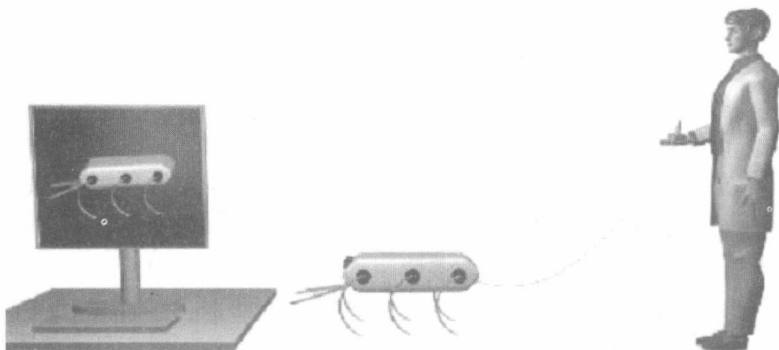


图 1.2 伪机器人的例子（在图中的左侧给出一个存在于虚拟世界的系统；右侧给出了一个没有自主能力的系统。这些伪机器人都不是货真价实的机器人）

机器人是一个拥有自主权的系统，它存在于物理世界，能够对它所处的环境进行感知，并且可以采取行动来实现某些目标。

这看起来是一个非常宽泛的定义，但事实上这个定义的每一部分都是重要而且必要的。现在让我们将这个定义分解开来进行讨论。

机器人是一个拥有自主权的系统

一个拥有自主权的系统，它的行为取决于自身的决定，而不是由人类来控制。

当然，现实中有很多的机器并没有行为的自主权，它们都是由人来控制的。这种行为被称为“遥操作”。“遥”代表着距离很远，所以“遥操作”意味着在远处对系统进行控制。

不过这些机器不能算是真正的机器人。真正意义上的机器人可以完成自主的行为，它们也许会接受来自人类的输入和建议，但是不是所有的行为都由人类所控制。

机器人是一个拥有自主权的系统，它存在于物理世界

机器人和人类、飞禽走兽、花鸟树木甚至天气等万物共同存在于这个物理世界中，这也是它的一个基本属性。存在于这个世界上，将不得不遵守这个世界中的物理法则，以及来自于这个世界的挑战。正是真实的挑战决定了机器人是什么。在计算机中存在的机器人是模拟的，它们不具有物理世界的真实属性，这是因为虚拟现实远没有真实世界那么复杂。因此，虽然在计算机中有很多的模拟机器人，但是真正的机器人是存在于物理世界中的。

机器人是一个拥有自主权的系统，它存在于物理世界，能够对它所处的环境进行感知

能够对所处的环境进行感知这意味着机器人拥有着传感器，凭借各种感觉（例如听觉、触觉、视觉、嗅觉等）从这个世界获得信息。一个虚拟的机器人，与之相反，可以如有神助般地获得信息和知识。但一个真实的机器人只能依靠传感器来感知这个世界，这一点和人类以及其他动物一样。因此，如果一个系统没有感觉，但是却可以神奇地获得信息，我们就并不认为它是一个真正的机器人。进一步讲，如果一个系统没有感觉或者不能获得信息，那么它就不能算是一个机器人，因为它无法对身边发生的事情做出反应。

机器人是一个拥有自主权的系统，它存在于物理世界，能够对它所处的环境进行感知，并且可以采取行动。

当感官得到一些信息后，采取行动来进行应对是机器人的必备属性。一个对此无动于衷的机器（换言之，它没有行动，没有做出对这个世界有任何影响的行为）也不能算是机器人。正如我们所知道的，这个世界上有着各种各样不同的运动方式，这也就是为什么机器人领域如此广泛的原因。

机器人是一个拥有自主权的系统，它存在于物理世界，能够对它所处的环境进行感知，并且可以采取行动来实现某些目标。

现在我们终于谈到了机器人的智慧问题，或者说机器人的实用价值了。如果一个存在于物理世界系统或者机器能对所处的环境进行感知，但是对此做出的反应却是完全随机或者无济于事的，那么它也不能算是一个真正的机器人。这是因为这一类系统或机器并没有利用感知到的信息或者自身的能力来做出一些对自己/或者其他人有用的事情。因此，我们对一个真正的机器人的期待是，它拥有一个或者多个目标，并且自身能够采取行动来实现这些目标。目标既可以是很简单的，比如“不要被卡住”，也可以是很复杂的，比如“尽全力保证你主人的安全”。

在已经完成了对机器人的定义之后，我们现在来看看机器人学这个词汇是如何定义的。