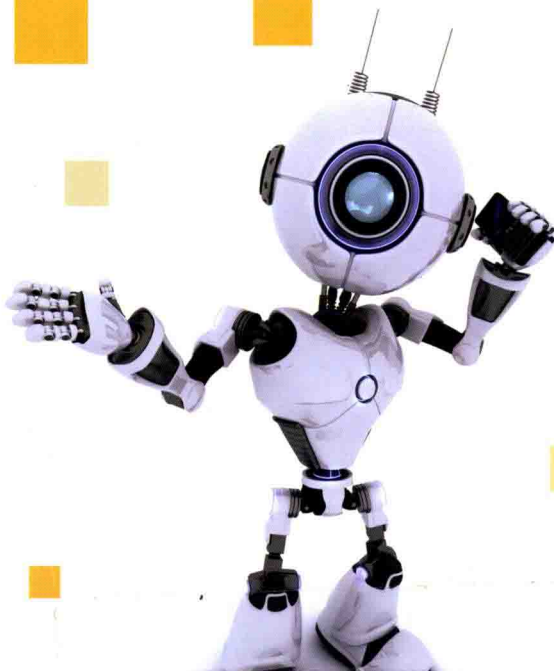




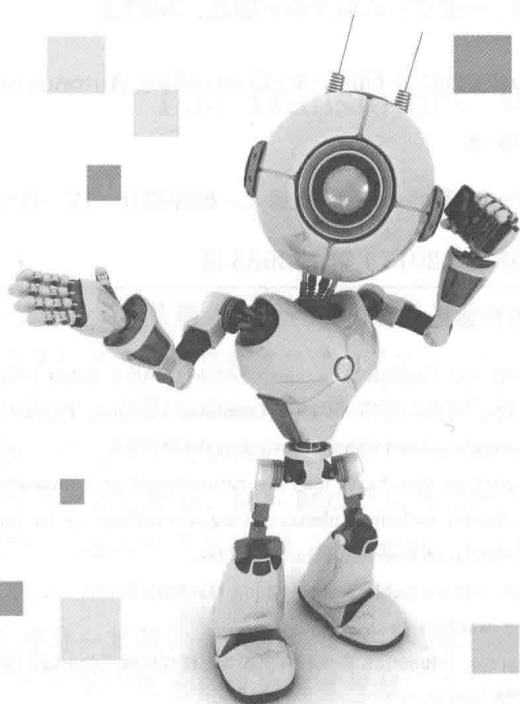
# 机器人编程实战

Robot Programming  
A Guide to Controlling Autonomous Robots

[美] 卡梅伦·休斯 (Cameron Hughes) 著  
特雷西·休斯 (Tracey Hughes)  
刘锦涛 李笔锋 译



机械工业出版社  
China Machine Press



# 机器人编程实战

## Robot Programming

A Guide to Controlling Autonomous Robots

[美] 卡梅伦·休斯 (Cameron Hughes)

特雷西·休斯 (Tracey Hughes)

著

刘锦涛 李笔锋 译



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机器人编程实战 / (美) 卡梅伦·休斯 (Cameron Hughes), (美) 特雷西·休斯 (Tracey Hughes) 著; 刘锦涛等译. —北京: 机械工业出版社, 2017.6

(机器人设计与制作系列)

书名原文: Robot Programming: A Guide to Controlling Autonomous Robots

ISBN 978-7-111-57156-8

I. 机… II. ①卡… ②特… ③刘… III. 机器人—程序设计 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 140633 号

本书版权登记号: 图字: 01-2016-4509

Authorized translation from the English language edition entitled Robot Programming: A Guide to Controlling Autonomous Robots, 9780789755001 by Cameron Hughes, Tracey Hughes, published by Pearson Education, Inc, publishing as Que Publishing, Copyright © 2016.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanic, including photocopying, recording, or by any information storage retrieval system, without permission of Pearson Education, Inc.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2017 by China Machine Press.

本书中文简体字版由美国 Pearson Education 培生教育出版集团授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

## 机器人编程实战

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 王春华

责任校对: 殷虹

印刷: 中国电影出版社印刷厂

版次: 2017 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 186mm × 240mm 1/16

印张: 18.5

书号: ISBN 978-7-111-57156-8

定价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

## The Translators' Words | 译者序

如果有人问我：十年前第一次制作机器人时，你希望能拥有哪一本书？我会回答，就是这本《机器人编程实战》！今天我们把这本书带到了读者面前，期待与大家交流、共勉。

记得我们在 2009 年也是使用 **Arduino**（本书主要使用的控制器之一）进行机器人编程，虽喜欢其易学易用，但感觉与机器人相关的编程知识太过零碎，不成体系。为了寻找好的机器人编程范式，我们便开始使用 **ROS**。但用 **ROS** 进行开发的问题则是严重依赖 **Linux**，导致软件部署成本高（包括时间成本和硬件成本），并且对 **Linux** 编程的基础要求也比较高，这一点就难为很多初学者了。

本书的出现将改善这一困境，书中不仅提供了基础、全面、准确的机器人系统的相关概念和知识，还配有大量的图表以帮助读者理解。全书有生日机器人举行生日派对和 **Midamba** 制作自主机器人以在荒岛求生两条线索，在故事场景中学习编程，妙趣横生！然而，本书最大的创新是提出了一系列用于机器人程序设计、规划和分析的范式或工具。即便是我们这些已经读过很多机器人相关图书的“老司机”也从本书中获益匪浅，比如机器人场景图形规划（**RSVP**）、实际环境中机器人效能熵（**REQUIRE**）、安全自主机器人应用架构（**SARAA**）等。

本书需要读者具备基本的 **Java** 或 **C++** 编程技巧。书中所有的机器人指令、命令和程序已经在基于 **ARM7**、**ARM9** 微控制器机器人以及流行并广泛使用的 **LEGO NXT**、**EV3** 机器人上进行了测试。

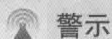
本书的翻译得到了易科机器人实验室（**exbot.net**）的大力支持，尤其是张瑞雷和李静两位老师审阅全书，并提出了宝贵的修改意见，向他们表示感谢！随着开源机器人社区的日渐强大，以及基于互联网的技术交流和传播，极大地便利了我们的学习和开发。尽管如此，对于初学者，仍然需要有“千里之行，始于足下”的初心和钻研精神，一本浅显易懂而引人入胜的宝典秘籍更能助你事半功倍。

本书很适合作为大家的第一本机器人编程实践书和指导手册，目标读者包括机器人竞赛团队、创客和本科高年级的大学生等。

有关本书更多讨论欢迎访问 [books.exbot.net](http://books.exbot.net)。

# 前言 | Preface

## 机器人新兵训练营



### 警示

作为机器人程序员，我们应确保所从事的编程对于公众和机器人自身都是安全的，这是我们的特殊责任。当对机器人进行编程时，首先要考虑机器人与人类、动物、其他机器人或资产互动时的安全。这对于所有类型机器人的编程都是适用的，尤其是可编程自主机器人，即本书所介绍的机器人类型。本书所涉及的机器人命令、指令、程序和软件仅用于展示，就安全性而言其不适合用于与人类、动物、其他机器人的互动。

对机器人安全的深入研究超出了本书的范围。虽然本书所给出的机器人示例和应用经过测试可以确保其正确性和恰当性，但是不能保证其中的命令、指令、程序和软件没有任何瑕疵和错误，与任何适售性的特定标准一致，或满足针对任何特别应用的要求。

机器人代码段、程序和示例仅用于阐述，在任何情形下当它们的使用会导致人身伤害、造成财产或时间损失，以及产生理念冲突时，都不应该再继续使用。对于因本书中呈现或在相应支持网站上的机器人、命令、指令、机器人程序和示例的使用所带来的直接或间接损害，作者和出版商不负任何责任。

## 机器人编程新兵训练营

欢迎阅读本书。机器人编程“新兵训练营”将确保你着手开始前掌握所有必备的信息。我们已经构建了很多类型的机器人并对它们进行编程，从简单的单用途机器人到先进的多功能自主机器人组群，因而发现这个短期机器人编程训练营对于不熟悉机器人编程或想要学习新技术进行机器人编程的人来说是不可缺少的。

## 准备、设置、走起！无需繁琐接线

图 I-1 给出了机器人控制和操作的两种基本分类。

机器人操作的两种基本分类

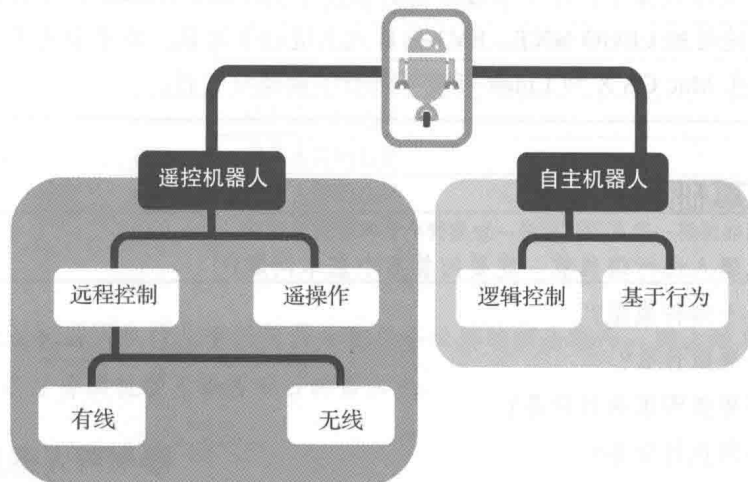


图 I-1 机器人操作的两种基本分类

遥控机器人是由一名操作员用某种远程控制装置或木偶模式（puppet mode）远程控制机器人的操作。有些远程控制要求一条连线（某种类型的线）以物理方式连接于机器人，而其他远程控制类型则是无线的（如无线电控制或红外控制）。

自主机器人是一类不需要人类操作员控制的机器人。它们能自主地访问和执行一组指令，不需要远程控制的干预或中断。

本书主要关注自主机器人操作和编程。虽然我们常讨论、解释、比较遥控机器人和自主机器人，但是本书将重点介绍对能够自主运行和执行所分配任务的机器人进行编程的基本概念。

如第 9 章所述，为满足运行策略而进行不同混合并匹配，存在两种类型机器人控制或操作的混合物。我们将会介绍混合并匹配不同的机器人控制策略的技术。

### 警示

虽然本书并未假定读者具有机器人编程的经验，但是全书假定读者在标准编程语言（如 Java 或 C++）方面具有一定基础，熟悉基本的编程技巧。同时，本书并非以 Java 或 C++ 呈现最终的机器人程序，而是先以图或通俗易懂的语言给出基本的机器人指令技巧和概念。本书将引导读者熟悉一些程序用于设计、规划和分析，比如机器人场景图形规划（Robot Scenario Visual Planning, RSVP）和实际环境中的机器人效能熵（Robot Effectiveness Quotient Used in Real Environments, REQUIRE）。



注释

本书所有机器人指令、命令和程序已经在基于 ARM7、ARM9 微控制器的机器人以及流行并广泛使用的 LEGO NXT、EV3 机器人上进行了测试。本书中使用的所有其他机器人软件也均在 Mac OS X 和 Linux 环境下进行了测试与运行。

新兵训练营基础

在试图对机器人进行编程前一定要回答五个基本问题：

- 1. 机器人属于哪种类型？
- 2. 机器人将要做什么？
- 3. 机器人将要在哪里执行任务？
- 4. 机器人如何执行任务？
- 5. 如何对机器人进行编程？

许多新手和准机器人程序员不能回答这些基本问题，导致机器人项目不能成功实现。在令任意类型的机器人执行所分配任务的过程中，回答这些基本问题是第一步。本书演示了如何通过回答这些问题来形成一个分步的方法，从而成功指导一个机器人自主地执行一系列任务。

本书介绍的机器人编程核心技巧

本书中，我们将在机器人新兵训练营中讲解的基本技巧如表 I-1 所示。

表 I-1 机器人新兵训练营技能表

| 技 巧              | 描 述     |
|------------------|---------|
| 机器人运动规划与编程       | 手臂运动    |
|                  | 夹持器编程   |
|                  | 末端作用器运动 |
|                  | 机器人导航   |
| 利用不同类型的传感器对机器人编程 | 红外传感器   |
|                  | 超声波传感器  |
|                  | 触碰传感器   |
|                  | 光传感器    |
|                  | 射频识别传感器 |
|                  | 摄像机传感器  |
|                  | 温度传感器   |
|                  | 声音传感器   |
|                  | 分析传感器   |

(续)

| 技 巧   | 描 述                              |
|-------|----------------------------------|
| 使用电动机 | 机器人导航中使用的电动机                     |
|       | 机器人手臂、夹持器和末端作用器中使用的电动机           |
|       | 传感器定位中使用的电动机                     |
| 决策    | 机器人动作选择                          |
|       | 机器人方向选择                          |
|       | 机器人路径选择                          |
| 指令转换  | 将英文指令和命令转换成一种编程语言或一种机器人可以处理的指令形式 |

上述技巧是让机器人执行几乎任何所分配任务必需的核心技巧。对上述五个方面做出标注是因为它们代表了夯实机器人编程基石的第二步。

## 基本的通用机器人转换器

我们将在本书中使用两个助手以一种易于理解和快速参考的形式呈现机器人程序和常见的机器人编程问题。第一个助手，基本通用机器人转换器（Basic Universal Robot Translator, BURT），用于呈现本书中所有的代码段、命令和机器人程序。BURT 给出了每个代码段、命令或机器人程序的两个版本：

- 纯英文版本
- 机器人语言版本

BURT 用于将一组简单且易于理解的英文指令转换成相应的机器人语言。

在某些情况下，把英文版本转换成代表机器人指令的图。在其他情形下，BURT 将英文转换成标准的编程语言，例如 Java 或 C++。BURT 也可用于将英文指令转换成机器人可视指令环境，例如针对 LEGO 机器人的 Labview 或 LEGO G 语言。

每个 BURT 转换都有编号，可用于编程技巧、机器人指令或命令的快速参考指南。BURT 转换具有两个组件：一个输入组件和一个输出组件。输入组件包含伪代码或 RSVP。输出组件包含程序代码清单，不论其是一种标准语言还是一种图形符号。它们将被赋予 BURT 转换的输入或输出标志，如图 I-2 所示。

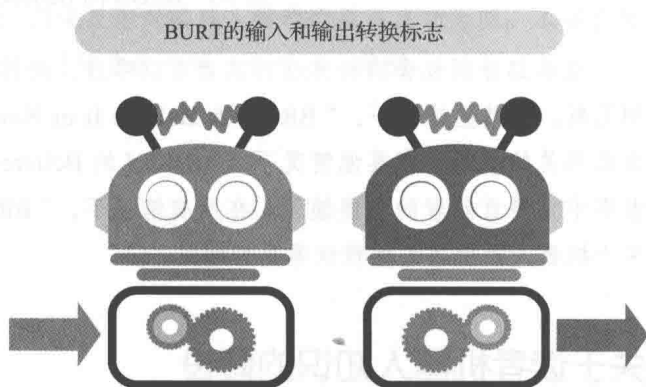


图 I-2 BURT 转换的输入和输出标志



作为 BURT 转换的补充，本书提供了术语表。机器人编程领域充满了技术术语和缩略词，读者可能既不熟悉又难于记忆。使用术语表可以快速查询本书所使用的任意缩写词或一些技术术语。

## BRON——蓝牙机器人有向通信网络

第二个助手是蓝牙机器人有向通信网络（Bluetooth Robot Oriented Network, BRON）。我们组建了一个机器人小组，它们通过蓝牙无线协议和互联网进行通信。定位和检索机器人编程世界里读者感兴趣的技巧，故事、采访和新闻，是这个机器人小组的责任。这些材料呈现在相关模块中，并且由图 I-3 所示标志表示。

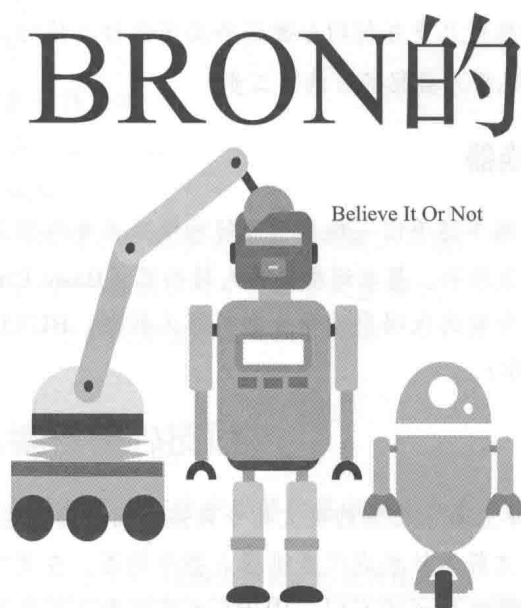


图 I-3 BRON 的 Believe It Or Not

这些部分所包含的补充材料读者可以略过，但其也通常提供了对某章节所采用观点的深刻见解。在某些情况下，“BRON 的 Believe It or Not”包含了见诸报端和与机器人编程某个方面相关的新闻。在其他情况下，“BRON 的 Believe It or Not”包含对机器人或机器人编程世界中重要贡献者的访谈摘录。在所有情况下，“BRON 的 Believe It or Not”部分旨在提供关于机器人或机器人编程世界真知灼见。

## 关于读者机器人知识的假设

本书无须接触过机器人即可阅读和学习。大多数章节以通俗易懂的语言解释概念，并用

图解加深理解。然而，为了能从本书中获得最大的收获，你最好能够亲自在机器人上尝试和测试命令、指令或程序。

本书中，我们将在几种不同类型的机器人上使用和测试指令与程序，并且所呈现的想法可扩展和应用到许多类型的机器人。如果你的机器人已具备了至少一种（如表 I-2 所示）能力，那么你就可以在你的机器人上运用本书中的任何程序。



注释

我们也会展示如何使用除表 I-2 之外的其他传感器给机器人编程，但是本书的主要想法是仅使用表 I-2 中列出的传感器进行尝试和测试。

表 I-2 新兵训练营的机器人能力矩阵

| 运动能力  | 感 知 | 执 行   | 控 制                      |
|-------|-----|-------|--------------------------|
| 轮子    | 红外线 | 夹持器   | ARM7 微控制器                |
| 两足    | 超声波 | 机器人手臂 | ARM9 微控制器                |
| 四足    | 摄像机 | 推进器   | LEGO Mindstorms EV3 微控制器 |
| 六足（等） | 热   |       | LEGO Mindstorms NXT 微控制器 |
| 空中    | 光   |       | Arduino                  |
|       | 颜色  |       | ARM Cortex/Edison 处理器    |
|       | 触碰  |       |                          |

Midamba 的机器人编程学习经历

本书将讲述一个小故事，即一个自由奔放、喜欢玩乐的青年 Midamba 如何在困境中找到自我。幸运的是，他走出困境唯一的机会是要求他学习如何对机器人进行编程。虽然 Midamba 在计算机编程方面有一些经验，但是他对机器人知识了解甚少，也没有机器人编程的经验。所以本书通篇将以 Midamba 的困境及他对机器人编程的最终成功为例。本书会展示 Midamba 吸取的教训以及他如何一步步成功地为他的第一个机器人编程。

## 致 谢 | Acknowledgements

非常感谢 Valerie Cannon 在加利福尼亚州波莫纳市法尔培举行的 2015 DARPA 机器人搜索和救援挑战赛上为我们担任机器人记者和摄影师。

感谢“Bron 的 Believe It or Not”访谈的两名受访者。感谢俄亥俄州亚克利市 Tiny Circuits 公司的 Ken Burns，他为我们介绍了他的 Arduino 创客空间并耐心回答我们的问题。

对于本书中的许多机器人程序示例，我们也要感谢 NEOACM CSI / CLUE 机器人挑战团队在发声板和试验台方面做出的贡献。Ctest 实验室为我们提供了自由访问其 East Sidaz 和 Section 9 机器人的权限，我们很荣幸成为他们中的一部分。East Sidaz 和 Section 9 解答了我们所遇到的每一个难题。特别感谢 Pat Kerrigan、Cody Schultz、Ken McPherson 以及橡树山合作机器人创客空间的全体人员对我们早期机器人设计方面的帮助。特别感谢来自橡树山合作机器人创客空间的 Howard Walker 为我们介绍了 Pixy 摄像机。感谢扬斯敦州立大学的 Jennifer Estrada 在 Arduino-Bluetooth-Vernier 磁场传感器连接和代码方面提供的帮助。特别感谢 Bob Paddock 在传感器上提供的独特见解与专业知识，以及在 Arduino 微控制器上给出的深刻见解。感谢来自俄亥俄州亚克利市的 IEEE 会员 Walter Pechenuk 在我们不断谈论自主机器人方法时给予的微妙、潇洒和冷静的互动与反馈。此外，若没有我们诸多同事的灵感、宽容和贡献，本书根本无法完成。

# Contents | 目 录

## 译者序 前言 致谢

## 第 1 章 究竟什么是机器人 ..... 1

### 1.1 定义机器人的 7 个标准 ..... 1

#### 1.1.1 标准 1: 感知环境 ..... 2

#### 1.1.2 标准 2: 可编程的动作 和行为 ..... 2

#### 1.1.3 标准 3: 改变环境、与 环境交互或作用于环境 ..... 2

#### 1.1.4 标准 4: 具备电源 ..... 2

#### 1.1.5 标准 5: 适用于表示指令 和数据的语言 ..... 3

#### 1.1.6 标准 6: 无需外部干预的 自主性 ..... 3

#### 1.1.7 标准 7: 一个没有生命的 机器 ..... 4

#### 1.1.8 机器人分类 ..... 4

#### 1.1.9 传感器 ..... 6

#### 1.1.10 执行器 ..... 7

#### 1.1.11 末端作用器 ..... 8

#### 1.1.12 控制器 ..... 8

#### 1.1.13 机器人所在的场景 ..... 12

### 1.2 给机器人指令 ..... 14

#### 1.2.1 每个机器人都有一种 语言 ..... 14

#### 1.2.2 迁就机器人的语言 ..... 16

#### 1.2.3 在可视化编程环境中表示 机器人场景 ..... 18

#### 1.2.4 Midamba 的困境 ..... 18

### 1.3 下文预告 ..... 20

## 第 2 章 机器人词汇 ..... 21

### 2.1 为什么需要更多努力 ..... 22

### 2.2 确定动作 ..... 25

### 2.3 自主机器人的 ROLL 模型 ..... 26

#### 2.3.1 机器人的能力 ..... 27

#### 2.3.2 场景和态势中的机器人 角色 ..... 28

### 2.4 下文预告 ..... 30

## 第 3 章 机器人场景图形规划 ..... 31

### 3.1 建立场景地图 ..... 31

#### 3.1.1 创建平面图 ..... 32

#### 3.1.2 机器人的世界 ..... 34

#### 3.1.3 RSVP READ 设置 ..... 36

### 3.2 伪代码和绘制 RSVP 流程图 ..... 38

#### 3.2.1 控制流程和控制结构 ..... 39

|                                       |    |                                        |     |
|---------------------------------------|----|----------------------------------------|-----|
| 3.2.2 子程序 .....                       | 43 | 6.1.1 颜色传感器模式 .....                    | 86  |
| 3.3 目标和机器人状态图 .....                   | 46 | 6.1.2 探测距离 .....                       | 87  |
| 3.4 下文预告 .....                        | 50 | 6.1.3 机器人环境的照明 .....                   | 87  |
| <b>第 4 章 检验机器人的实际能力</b> ...           | 51 | 6.1.4 校准颜色传感器 .....                    | 88  |
| 4.1 微控制器的实际检验 .....                   | 53 | 6.1.5 编程颜色传感器 .....                    | 89  |
| 4.2 传感器的实际检验 .....                    | 56 | 6.2 用于检测和跟踪颜色目标的<br>数码相机 .....         | 92  |
| 4.3 执行器和末端作用器的检验 .....                | 60 | 6.3 利用 RS Media 跟踪颜色目标 .....           | 92  |
| 4.4 REQUIRE 机器人效能 .....               | 62 | 6.4 使用 Pixy Vision 传感器跟踪<br>颜色目标 ..... | 95  |
| 4.5 下文预告 .....                        | 64 | 6.4.1 训练 Pixy 以检测目标 .....              | 96  |
| <b>第 5 章 详解传感器</b> .....              | 65 | 6.4.2 编程 Pixy .....                    | 98  |
| 5.1 传感器感知 .....                       | 66 | 6.4.3 详解属性 .....                       | 101 |
| 5.1.1 模拟和数字传感器 .....                  | 68 | 6.5 超声波传感器 .....                       | 101 |
| 5.1.2 读取模拟和数字信号 .....                 | 69 | 6.5.1 超声波传感器的局限性<br>和准确性 .....         | 102 |
| 5.1.3 传感器输出 .....                     | 71 | 6.5.2 超声波传感器的模式 .....                  | 106 |
| 5.1.4 读数存储 .....                      | 72 | 6.5.3 采样读数 .....                       | 106 |
| 5.1.5 有源和无源传感器 .....                  | 72 | 6.5.4 传感器读数的数据类型 .....                 | 107 |
| 5.1.6 传感器与微控制器的<br>连接 .....           | 74 | 6.5.5 校准超声波传感器 .....                   | 107 |
| 5.1.7 传感器属性 .....                     | 77 | 6.5.6 编程超声波传感器 .....                   | 108 |
| 5.1.8 范围和分辨率 .....                    | 78 | 6.6 罗盘传感器计算机器人的航向 .....                | 117 |
| 5.1.9 精度和准确度 .....                    | 78 | 6.7 下文预告 .....                         | 121 |
| 5.1.10 线性度 .....                      | 79 | <b>第 7 章 电动机和伺服机构编程</b> ...            | 122 |
| 5.1.11 传感器校准 .....                    | 80 | 7.1 执行器是输出转换器 .....                    | 122 |
| 5.1.12 传感器相关问题 .....                  | 81 | 7.1.1 电动机特性 .....                      | 123 |
| 5.1.13 终端用户校准过程 .....                 | 81 | 7.1.2 电压 .....                         | 123 |
| 5.1.14 校准方法 .....                     | 82 | 7.1.3 电流 .....                         | 123 |
| 5.2 下文预告 .....                        | 83 | 7.1.4 转速 .....                         | 123 |
| <b>第 6 章 通过编程控制机器人的<br/>传感器</b> ..... | 84 | 7.1.5 扭矩 .....                         | 123 |
| 6.1 使用颜色传感器 .....                     | 84 | 7.1.6 电阻 .....                         | 123 |
|                                       |    | 7.2 不同类型的直流电动机 .....                   | 124 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 7.2.1 | 直流电动机                    | 124 |
| 7.2.2 | 转速和扭矩                    | 126 |
| 7.2.3 | 齿轮电动机                    | 127 |
| 7.3   | 电动机配置：直接和间接<br>动力传动系统    | 134 |
| 7.4   | 室内和室外机器人的地形挑战            | 134 |
| 7.4.1 | 应对地形挑战                   | 135 |
| 7.4.2 | 机器人手臂和末端作用器<br>的扭矩挑战     | 138 |
| 7.4.3 | 计算扭矩和转速需求                | 138 |
| 7.4.4 | 电动机和 REQUIRE             | 139 |
| 7.5   | 通过编程使机器人移动               | 140 |
| 7.5.1 | 一个电动机，还是两个、<br>三个、更多个电动机 | 140 |
| 7.5.2 | 执行动作                     | 140 |
| 7.5.3 | 编程动作                     | 141 |
| 7.5.4 | 通过编程使电动机移动<br>到指定位置      | 145 |
| 7.5.5 | 使用 Arduino 实现电动机<br>编程   | 151 |
| 7.6   | 机器人手臂和末端作用器              | 154 |
| 7.6.1 | 不同类型的机器人手臂               | 154 |
| 7.6.2 | 机器人手臂的扭矩                 | 155 |
| 7.6.3 | 不同类型的末端作用器               | 157 |
| 7.6.4 | 为机器人的手臂进行编程              | 159 |
| 7.6.5 | 计算运动学                    | 163 |
| 7.7   | 下文预告                     | 166 |

## 第 8 章 开始自主：构建机器人 所对应的软件机器人

|       |         |     |
|-------|---------|-----|
| 8.1   | 初探软件机器人 | 169 |
| 8.1.1 | 部件部分    | 171 |
| 8.1.2 | 动作部分    | 171 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 8.1.3 | 任务部分                     | 171 |
| 8.1.4 | 场景（态势）部分                 | 171 |
| 8.2   | 机器人的 ROLL 模型和软件<br>机器人框架 | 172 |
| 8.2.1 | BURT 把软件机器人<br>框架转换为类    | 173 |
| 8.2.2 | 第一次实现自主机器人<br>程序设计       | 184 |
| 8.3   | 下文预告                     | 185 |

## 第 9 章 机器人 SPACES

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 9.1   | 机器人需要自身的 SPACES       | 187 |
| 9.1.1 | 扩展的机器人场景              | 187 |
| 9.1.2 | REQUIRE 检查表           | 188 |
| 9.1.3 | 前提或后置条件不满足<br>时会发生的情况 | 190 |
| 9.1.4 | 前提或后置条件不满足<br>时的行动选择  | 191 |
| 9.2   | 详解机器人初始化后置条件          | 192 |
| 9.2.1 | 启动前提条件和<br>后置条件       | 194 |
| 9.2.2 | 编码前提条件和<br>后置条件       | 195 |
| 9.2.3 | 前提和后置条件的出处            | 200 |
| 9.3   | SPACES 检查和 RSVP 状态图   | 204 |
| 9.4   | 下文预告                  | 206 |

## 第 10 章 自主机器人需要 STORIES

|        |                       |     |
|--------|-----------------------|-----|
| 10.1   | 不只是动作                 | 208 |
| 10.1.1 | Birthday Robot Take 2 | 208 |
| 10.1.2 | 机器人 STORIES           | 209 |
| 10.1.3 | 扩展的机器人场景              | 210 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 10.1.4 将 Unit1 的场景转换为<br>STORIES ..... | 210 |
| 10.1.5 详解场景的本体 .....                   | 210 |
| 10.1.6 关注机器人的意图 .....                  | 220 |
| 10.1.7 面向对象的机器人代码<br>和效能问题 .....       | 243 |
| 10.2 下文预告 .....                        | 244 |

## 第 11 章 系统整合：Midamba 的 第一个自主机器人 编程 .....

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 11.1 Midamba 的初始场景 .....                     | 245 |
| 11.1.1 Midamba 一夜之间成为<br>机器人程序员 .....        | 245 |
| 11.1.2 步骤 1：机器人在仓库<br>场景中 .....              | 247 |
| 11.1.3 步骤 2：设施场景 1 的机器<br>人词汇和 ROLL 模型 ..... | 249 |
| 11.1.4 步骤 3：设施场景 1 的<br>RSVP .....           | 250 |
| 11.1.5 机器人 POV 图的<br>布局图 .....               | 251 |

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 11.1.6 Midamba 的设施场景 1<br>(精简) .....                | 252 |
| 11.1.7 RSVP 的图形化流程图 .....                           | 252 |
| 11.1.8 RSVP 的状态图 .....                              | 258 |
| 11.2 Midamba 关于机器人 Unit1 和<br>Unit2 的 STORIES ..... | 258 |
| 11.3 下文预告 .....                                     | 270 |

## 第 12 章 开源 SARAA 机器人 总结 .....

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 12.1 低成本、开源、入门级<br>机器人 .....                        | 274 |
| 12.1.1 基于场景的编程有助于<br>确保机器人的安全 .....                 | 276 |
| 12.1.2 SARAA 机器人总结 .....                            | 276 |
| 12.1.3 对机器人编程新手的<br>建议 .....                        | 278 |
| 12.1.4 Midamba 场景的完整<br>RSVP、STORIES 和<br>源代码 ..... | 278 |

## 术语表 .....

|           |     |
|-----------|-----|
| 术语表 ..... | 279 |
|-----------|-----|

# 第 1 章

## 究竟什么是机器人

机器人感受训练课程 1：所有机器人均是机械，但并非所有机械都是机器人。

任意询问 10 个人什么是机器人，可能会获得至少 10 个不同的答案：无线电遥控玩具狗、银行自动取款机、遥控作战机器人、自动操作真空吸尘器、无人驾驶飞机、声控智能手机、电池驱动人形公仔等。

或许很难定义什么是机器人，但是事实是我们都清楚地知道。软件控制装置的快速发展已经模糊了自动化装置与机器人之间的界线。一个装置或设备由软件控制，并不足以使其成为一个机器人，并且机器的自动化或自操作也不足以彰显机器人的特殊地位。

虽然许多遥控的、自操作的装置和机器也属于机器人，但并不是真正意义上的机器人。表 1-1 对机器人给出了一些广为使用的、有时会互相矛盾的、词条上的定义。

| 表 1-1 “机器人”词条的一些广为使用的、有时会互相矛盾的定义 |                                                            |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 源                                | 定 义                                                        |
| 城市词典                             | 一个从事人的工作的机械装置                                              |
| 维基百科                             | 一个机械或虚拟的人工智能体，通常为一个由计算机程序或电子电路操纵的机电设备                      |
| 韦氏词典                             | 一个看起来类似人类并且执行人类各种复杂动作（如行走和讲话）的机器，以及类似但虚拟的机器，常会强调其缺乏人类的情感能力 |
| 大英百科全书                           | 任何取代人类劳力的自动化操作机器，即使它可能在外观上不像人类或它像人一样执行某些功能                 |
| 网络百科全书                           | 一个对感官输入做出反应的装置                                             |

### 1.1 定义机器人的 7 个标准

在开始着手于机器人编程任务之前，需要明确是什么让一个机器人能真正被称作机器人。那么，什么时候才能让一个自操作的软件控制装置有资格成为一个机器人呢？在 ASC (Advanced Software Construction 公司，作者为机器人和软件机器人打造智能引擎的地方)，一台机器需要满足以下 7 个标准：

1. 通过编程，应具备以一种或多种方式感知外部或内部环境的能力。
2. 其行为、动作和控制是执行一组程序指令的结果，并可重复编程。



3. 通过编程, 应具备以一种或多种方式来影响外部环境、与外部环境交互或者在外部环境中进行操作的能力。

4. 应拥有自己的电源。

5. 应具备一种语言, 它适合表示离散指令和数据并支持编程。

6. 一旦启动, 无需外部干预即具备执行程序的能力。

7. 必须是一个没有生命的机器。

下面将详细阐释上述标准。

### 1.1.1 标准 1: 感知环境

一个有用或有效的机器人应具有一些感知、测量、评估或监测环境与态势的方法。机器人计划执行的任务决定了其需要什么感知, 以及如何在所处环境中利用这些感知。它可能需要识别环境中的对象、记录或区分声音、测量遇到的物质、通过触碰定位或规避物体等。在某种程度上, 如果缺少感知环境与态势的能力, 机器人将很难完成任务。当然, 除了具有一些感知环境与态势的方法之外, 机器人还必须具有接受指令的能力, 诸如如何、何时、何地以及为何使用其感知等。

### 1.1.2 标准 2: 可编程的动作和行为

应要有给机器人指令的描述方法:

- 执行什么动作
- 何时执行动作
- 何地执行动作
- 何种情形下执行动作
- 如何执行动作

通过本书可知, 对机器人编程相当于给机器人一系列关于是什么、何时、何地、为什么和如何执行动作问题的一组指令。

### 1.1.3 标准 3: 改变环境、与环境交互或作用于环境

一个有用的机器人不但需要感知环境, 而且在某种程度上要改变其所处的环境或态势。换言之, 一个机器人应能够通过行动改变某些东西或利用某些东西来完成任务, 否则就是无用的。采取行动或执行任务的过程应影响或作用于环境, 否则就无法得知机器人的行动是否有效。一个机器人的行动以某种可测量的方式改变其所处环境、场景或态势, 并且这种改变是向机器人发出一组指令后直接的结果。

### 1.1.4 标准 4: 具备电源

机器人的主要功能之一是执行某种动作, 这就需要消耗机器人的能量。能量应来自某种