

机器人 编程技术

——基于行为的机器人实战指南

(美) Joseph L. Jones 著

机器人仿真器由 Daniel Roth 设计

原魁 邹伟 等译

- 讲授基于行为编程的相关概念和思想
- 包括基于行为机器人的发展进程和理论知识
- 提供机器人行为以及行为仲裁的示例代码
- 探讨如何构建真实环境机器人应用程序



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机器人编程技术

——基于行为的机器人实战指南

(美) Joseph L. Jones 著

机器人仿真器由 Daniel Roth 设计

原魁 邹伟 等译



机械工业出版社

基于行为的编程技术是设计实现自主移动机器人的一个重要工具。本书系统地介绍了基于行为的系统设计思想和相关编程技巧。全书共9章, 主要内容包括: 自主移动机器人的相关概念介绍; 控制系统概述; 行为的主要特征及设计实现方法; 仲裁机制选择及设计实现; 常用传感器的工作原理以及基于这些传感器的各种行为编程设计; 任务分解及整体系统设计等。本书附录对差速驱动的数学理论基础进行了介绍, 并为读者提供了进行行为验证的 BSim 仿真系统。

本书取材新颖, 内容深入浅出, 并附有大量示例, 便于自学和应用, 可作为机器人、信息、控制以及计算机应用等专业的本科生或研究生的参考教材, 也可供有关教师、科研工作者以及机器人业余爱好者们参考。

Joseph L. Jones

Robotic Simulator by Daniel Roth

Robot Programming——A-Practical Guide to Behavior-Based Robotics

ISBN: 0-07-142778-3

Copyright©2004 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Machine Press

本书中文简体字翻译版由机械工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2005-1930

图书在版编目(CIP)数据

机器人编程技术——基于行为的机器人实战指南/(美)琼斯(Jones, J.L.)著; 原魁等译. —北京: 机械工业出版社, 2006.3

书名原文: Robot Programming: A Practical Guide to Behavior Based Robotics

ISBN 7-111-18310-X

I. 机… II. ①琼…②原… III. 机器人-程序设计
IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 002389 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 李万宇

责任编辑: 郑 铨 版式设计: 张世琴 责任校对: 姚培新

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm BS·7.375 印张·287 千字

0 001—4 000 册

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线 (010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

作者简介

Joseph L. Jones 是位经验丰富的机器人专家，目前工作于 iRobot 公司。他是《Mobile Robots: Inspiration to Implementation》一书的合著者，并在机器人领域发表了很多篇技术文章。同时，他还是 Roomba 家庭式自动地板吸尘除菌机器人的创始人之一，该机器人是第一台得以广泛应用的服务型机器人。

Daniel Roth 是麻省理工学院计算机专业硕士研究生，主要研究方向是自主移动机器人导航。

译者的话

机器人研究涉及到机械设计、计算机技术、控制技术、传感器技术、人工智能、机电一体化等多个研究领域，反映了一个国家科技和工业发展的整体水平。随着计算机技术、超大规模集成电路、控制理论、人工智能理论、传感器等技术的不断成熟和发展，机器人学的研究也进入了一个崭新的阶段。从可编程的、示教再现型工业机器人到具有一定感知能力、一定适应能力的机器人，再到配备多种先进传感器、具有较强适应能力的智能机器人，迄今为止，已经经历了三个发展阶段。随着机器人相关技术的进一步发展，研究重点已经转向能在未知、复杂、动态环境中独立完成某项任务的自主式智能移动机器人。

传统机器人学在笛卡尔空间对机器人或环境用符号进行描述，然后实施规划和控制，因此这种机器人学被称为基于符号的机器人学。由于这种研究方法需要根据给定任务预先进行精确规划，因此主要适用于工作在结构化环境中的工业机器人。由于移动机器人需要具有在动态不确定环境中进行自主运动和作业的能力，因此采用传统的机器人学完全不能满足这方面要求，由此诞生了基于行为的机器人学。本书即是作者在此背景下撰写而成的。

本书作者从事机器人研究多年，编程实现了多种自主机器人系统，在机器人编程方面积累了丰富的经验。借此感谢作者能够将自己这些经验编辑成册，供许多机器人研究工作者们共享！本书主要阐述了基于行为的机器人编程思想，比较详细地介绍了在编程过程中有可能遇到的各种问题，并据此提出了相应的解决方案，提供了大量的行为代码和仲裁代码示例。本书每章的结束都有大量的习题，以供读者理解和掌握相关知识，据此开拓自己的思路。读者可以通过链接相关网址访问 BSim 机器人仿真系统，通过建立自己的虚拟机器人来验证自己所掌握的编程技能。本书取材新颖，概念清楚，通俗易懂，在广度、深度以及实际应用方面都作了综合考虑。



本书的翻译过程力求忠于作者原意。译者希望本书的翻译能够吸引更多的机器人爱好者来动手编程实现自己的机器人！译者所在单位常年从事机器人方面的研究，并经过几年的努力开发出了拥有自主知识产权的移动机器人平台，本书所述编程思想完全可以在这种平台上进行测试和验证！

本书的翻译过程主要由原魁研究员和邹伟博士合作完成，全书由原魁研究员校阅，在翻译过程中，房立新、朱海兵、杜清秀、王伟等同志参与了部分工作，在此对他们表示衷心的感谢。同时也感谢机械工业出版社的编辑们给予我们耐心的等待和支持。

由于译者水平有限，加之时间十分仓促，译文中难免出现错误和不当之处，恳请读者批评指正。

译者

中国科学院自动化研究所

2006年1月

序

在 20 世纪 80 年代，我加入了麻省理工学院人工智能实验室的一个科研小组，尝试了自己在机器人编程方面的第一份工作。当时，我们的科研小组试图解决机器人领域内的经典“捡—放”问题。顾名思义，这个问题的研究目的就是使机器人能够在一个地方捡起某个物体，并将其放置在另外一个地方。当指定了被捡物体和目的地后，机器人只要能够规划好机械臂和机械手的相关运动就能将物体移动到目的地。即使对两岁儿童来说这也是比较简单的事情，然而为了在机器人上实现这一功能，包括我在内的四个科研工作者却花费了大约五年的时间[⊖]。

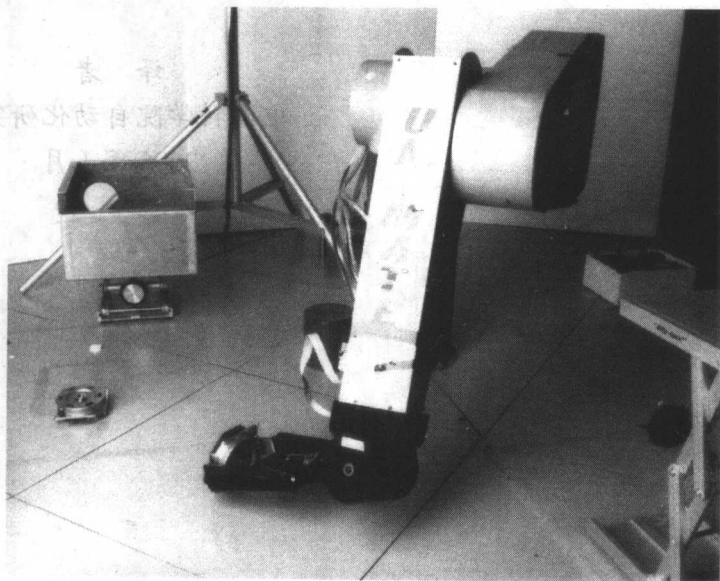


图 P-1 图中所示为 560 型 Puma 机器人。在 Handey 工程项目开发中我们采用的就是这种操作机器人，在它上面安装有专门定制的机械手装置。该项目的研究目的是让机器人捡起面前的电动机，并将其插入到位于自己右后侧的组装系统中（位于图中所示的白盒子内）。Handey 程序的作用就是产生机器人各关节的运动命令，机器人通过执行这些命令可以完成相应的动作：拿起电动机，避开所有的障碍，将其放置到组装系统中（图片由麻省理工大学人工智能实验室的 Tomás Lozano-Pérez 教授提供）。

⊖ 参阅：Handey: a Robot Task Planner. by Tomás Lozano-Pérez, Joseph L. Jones, Patrick A. O' Donnell, and Emmanuel Mazer. MIT Press, 1992.



小组其他成员负责编制机器人手臂的大范围运动程序，也就是能够控制手臂从工作间中的一个区域移动到另外一个区域。我的任务是编写机器人手臂的局部运动规划软件，该软件能够使手臂自动向物体移动几厘米，然后完成相应的物体抓取动作（如图 P-1 所示）。对于整个问题的解决存在着多方面的约束：机器人必须在一个它能够到达并且能够触及物体的地方抓取该物体；机器人在行走过程中必须具备避碰功能；机器人必须遵循运动学约束[⊖]。

除此之外，机器人在进行抓取操作时有可能同某些障碍物发生碰撞，并且在放置物体时也有可能不能满足机器人的运动学约束。因此，我们还需要编写相应的程序代码使机器人在这些情况下能够重新抓起物体。在整个系统的设计实现过程中，我们时刻都在提醒自己：我们的软件应该具有完备的通用性，所有的代码必须适用于任何机器人系统，适用于任何环境，每个环节都应该具有良好的可移植性。

为了使机器人能够可靠地完成预期任务，首先必须为机器人建立相应的世界模型，该模型能够描述出机器人工作环境中各物体的几何形状，以及这些物体同机器人之间的相对位置关系。同时，我们还需要按照类似方式为机器人建模，列出用以描述机器人各关节之间的相对位置关系以及各关节运动方式和运动范围的运动学方程。

上述工作说起来简单，实现起来却是非常让人头疼的事情。当机器人按照预先规划好的程序执行相应动作时，环境模型的任何微小偏差都有可能導致机器人同其他物体发生碰撞；机器人运动学方程中的任何微小错误也有可能使机器人不能按照我们的设计思路完成相应的任务，甚至会对环境中的其他物体造成破坏。此外，如果我们不小心碰了一下工作环境中的某个物体，那么机器人在运动过程中将极有可能同这个物体发生碰撞，因为此时的实际工作环境同事先建立的机器人世界模型已经不一致了。更让人恼火的是：即使我们已经成功地为机器人设计出相关运动方案，并且机器人也能够按照这种方案将物体从一个地方移动到另外一个地方，然而它的运行方式则总是看上去有点笨拙，显得相当不自然。

我们曾经希望我们的工作能够带来一些实际效益，使机器人参与的生产过程变得更加迅速和灵活；同时，我们还希望我们的软件设计能够为组装流水线设计人员带来方便。他们只需要用简单的术语为机器人描述出相关任务就能完成自己的工作，而不必为如何实现这些任务的具体细节问题而绞尽脑汁。从这一点上来讲，我们也算是使用尖端计算机技术和当时的先进实用思想成功地解决了一个有趣的学术问题。

然而，我们的努力却没有达到预期的效果，对于产品制造机器人的工作方式

⊖ 运动学约束是对机器人如何运动的一种限制。假如机器人某一关节 A 的旋转角度范围在 0° 至 120° 之间，那么控制程序就不能命令机器人将关节 A 旋转到 135° 的位置。



也没有带来任何的改进。直到现在, 组装流水线上的工人仍需要教给机器人每一个具体的动作, 机器人才能完成相应的组装任务。这种工作方式尽管相当劳累, 但仍具有一定的经济意义和实用价值。具有自主运动规划能力的机器人目前发展得还不是特别完善, 因此, 这种机器人在具体的实际应用中还没有立足之地。

在我从事机器人“捡—放”问题研究的同时, 人工智能实验室的另一个研究小组对自主移动机器人 (Autonomous Mobile Robot) 的环境适应性问题进行了挑战性研究。移动机器人 (Mobile Robot) 小组^①侧重研究一种完全不同的机器人, 这类机器人的工作环境同我们研究的机器人不同, 采用的研究方法也存在着根本的差别。

移动机器人小组的工作人员对昆虫发生了浓厚的兴趣, 他们认为这些弱小的动物群体在复杂而又危险的环境中能够得以生存是一个伟大的奇迹。昆虫不但需要寻找食物、住所和配偶等, 而且还需要时时提防和逃脱捕食者的袭击。在构建“大型”建筑和表演一些极具感染力的技能时, 这些昆虫们有时还会表现出一定的合作意识。然而, 昆虫的大脑在世界上却是最小的, 并且很多昆虫只具备原始的视觉系统, 这种视觉系统的像素容量比一台廉价的视频摄像机还要少。那么, 为什么这些不会说话的小虫子会表现出如此强大的能力, 以至于我们认为最先进的机器人也无处自容呢?

通过对昆虫行为的观察和研究, 移动机器人小组以及其他一些科研工作者提出了基于行为的机器人学。这一学科不但在

学术界具有重大影响, 而且还被广泛地应用到各种领域。机器人 Sojourner 就是采用了基于行为的编程思想而实现了其外星探测技能, 并于 1997 年成功地对火星进行了局部探索; 而地板吸尘机器人 Roomba[®]^②则是基于行为机器人学的一个对我们而言相对比较实际一些的具体应用, 参阅图 P-2。

很多人将吸尘机器人 Roomba[®] 赞誉为世界上第一种实用消费型机器人。事实



图 P-2 Roomba[®] 是美国麻州 Burlington iRobot 公司制作的地板吸尘机器人, 该机器人已经得到了广泛的应用。Roomba 采用了基于行为的编程机制 (图片由美国麻州 Burlington iRobot 公司提供)。

① 移动机器人研究小组的创建人和领导者是 Rodney Brooks 教授。

② 美国麻萨诸塞州 Burlington iRobot 公司 (www.irobot.com) 的很多工作人员为吸尘机器人 Roomba[®] 的研制和发展做出了至关重要的贡献。该公司成立时的主要人员有 Paul Sandin, Phil Mass, Eliot Mack, Chris Casey, Winston Tao, Jeff Ostezewski, Sara Farragher 和 Joe Jones。



上, 随着时间的发展, Roomba® 渐渐出现在大型市场零售商的展示架上。机器人能够出现在这种场合, 这在以前比火星探测更加不可想象。同 Sojourner 相似, Roomba 也遵循基于行为机器人学的相关原则, 这些原则能够赋予机器人一些重要功能: 即使采用低端微型处理器, 机器人也能够对感知信息作出迅速反应; 运行过程具有更强的鲁棒性; 在数据不准确和部分信息不能感知的情况下, 能够进行优雅的降级。

由于计算量不大, 并且易于实现, 基于行为的机器人学很容易被学生和机器人热爱者们所接受。通过学习和掌握基于行为机器人学的基本原理和思路, 可以设计出价格适宜、具有良好响应能力和鲁棒性的、供娱乐用的甚至具有应用价值的机器人。

Joe Jones

致 谢

本书的出版和发行得到了很多人的帮助，在此对他们表示衷心的感谢。麦格罗－希尔国际出版公司的 Judy Bass 曾建议我写一本关于机器人的新书，正是在他的鼓励下我才开始着手撰写此书。第 8 章内容来源于我和 Ben Wirz 从事了多年的一个研究项目。其他一些人花费了很多心血对本书的原稿进行了审阅，并提出了很多极其重要的建议，其中包括：Adam Craft、Matt Cross、Branden Gunn、Danniel Ozick、Paul Sandin、Steve Shamlian、Jennifer Smith、Sue Stewart、Chunk Rosenberg、Clara Vu、Greg White、Bill Wong 和 Holly Yanco。

深深的谢意送给那些遍布世界各地的、数量日益增多的热心于机器人事业的业余爱好者、学生、教育工作者以及研究人员。正是由于他们，才使得机器人以及机器人的相关书籍得以同大家见面，他们是引导机器人未来发展方向的源泉力量，感谢他们！

目 录

作者简介.....	III	习题.....	42
译者的话.....	IV	第3章 行为.....	44
序.....	VI	3.1 触发和控制系统.....	44
致谢.....	X	3.2 伺服行为和弹道式 行为.....	45
引言.....	1	3.3 伺服行为实现.....	46
第1章 自主移动机器人.....	8	3.4 有限状态分析.....	50
1.1 示例:收集任务 (Collection).....	9	3.5 FSM 示例:逃离行为.....	55
1.2 机器人的定义.....	12	3.6 FSM 实现.....	57
1.3 感知.....	14	3.7 重载行为.....	60
1.4 执行.....	15	3.8 本章小结.....	60
1.5 智能.....	15	习题.....	61
1. 移动机器人和固定机器人.....	15	第4章 仲裁.....	63
2. 回应挑战.....	19	4.1 固定优先级仲裁.....	63
3. 机器人对世界的观察.....	20	4.2 何时仲裁.....	66
1.6 本章小结.....	23	4.3 优雅降级.....	69
习题.....	23	4.4 其他方案.....	72
第2章 控制系统.....	27	4.5 传感器认证.....	74
2.1 开环控制和闭环控制.....	27	4.6 其他仲裁策略.....	76
2.2 位置控制示例.....	30	1. 可变优先级.....	76
2.3 控制系统灾难.....	31	2. 包容式结构.....	77
2.4 控制系统的稳定性.....	33	3. 运动图式.....	80
2.5 饱和、回差和死区.....	35	4. 最小约束仲裁.....	82
2.6 带有参数和状态的 开环控制器.....	38	4.7 本章小结.....	84
2.7 Bang-Bang 控制器.....	39	习题.....	85
2.8 磁滞.....	40	第5章 行为编程设计.....	87
2.9 本章小结.....	42	5.1 基于差分传感器的	



归航行为	87	6. 回收箱识别、苏打罐放置	
5.2 基于绝对定位的归航		以及充电	131
行为	91	7. 避免危险	132
5.3 基于差分传感器的避障		6.4 机械平台	132
行为	95	6.5 需要提出的问题	132
5.4 消除峡谷效应	97	6.6 需要安装的传感器	133
5.5 基于接触传感器的沿墙		6.7 行为构建	134
行走行为	100	6.8 SodaBot 行为	135
5.6 基于测距传感器的沿墙		6.9 机器人扼要重述	137
行走行为	102	6.10 基本原则	138
5.7 基于接近觉传感器的沿墙		1. 无伤害性	138
行走行为	103	2. 目标倾向	138
5.8 限界行为和陡沿行为	104	3. 宁选随机的鲁棒性,不取	
5.9 抖动问题	106	脆弱的确定性	139
5.10 逃离行为	107	6.11 本章小结	139
5.11 区域覆盖	109	习题	139
1. 确定性覆盖	109		
2. 随机覆盖	110	第7章 物理接口	142
5.12 广义差分响应	113	7.1 碰撞检测传感器	143
5.13 矢量避障行为和		1. 防撞器	144
归航行为	115	2. 堵转检测传感器	146
5.14 调试	117	3. 静止检测传感器	148
5.15 本章小结	118	7.2 避障传感器	148
习题	119	1. 红外接近觉传感器	148
第6章 任务分解	122	2. 红外测距传感器	150
6.1 SodaBot: 苏打罐		3. 声纳测距传感器	151
清理机器人	122	4. 使用测距传感器需要	
6.2 问题陈述	123	考虑的问题	152
6.3 简单实现任务	126	7.3 归航传感器	153
1. 巡视可能地点	126	1. 光电管、光电晶体管和	
2. 识别苏打罐	127	光敏二极管	153
3. 废弃苏打罐判定	128	2. 编码信标	155
4. 捡取苏打罐	129	3. 热释传感器	156
5. 导航	130	4. 色块检测传感器	157
		5. 磁性传感器	157



7.4 航位推测法及其导航	1. 电源	186
传感器	2. 电动机	187
1. 轴编码器	3. 操作	187
2. 惯性传感器	4. 运动方式	188
3. 电子罗盘	9.4 未来的智能	189
4. GPS	1. 机器人控制	189
7.5 本章小结	2. 机器人学习	190
习题	9.5 未来的感知系统	191
第8章 系统实现	1. 视觉感知	191
8.1 RoCK 规范:新型机器	2. 声学感知	191
的目标	3. 其他传感器	192
8.2 编程规范	习题	193
8.3 RoCK 行为	附录A 差速驱动的	
1. 跳舞行为(Dance)	数学基础	194
2. 红外跟踪行为(IR_follow)和光线	1. 位姿	194
跟踪行为(VL_follow)	2. 航位推测法	195
3. 波士顿行为(Boston)	3. 差速驱动	199
4. 巡航行为(Cruise)	4. 伦敦雾问题(London Fog)	201
5. 逃离行为(Escape)	5. 航位推测法的局限性	202
6. 操纵杆行为(Joystick)	6. 小结	204
7. 连线检测行为(Wire)	习题	204
8.4 蜂鸣器控制	附录B BSim 仿真系统	206
8.5 程序源码	1. BSim 系统要素	206
1. 调度器	(1) 仿真器与时间	206
2. 行为格式	(2) 仿真环境	206
3. 仲裁器	(3) 理想模式(Fantasy)与噪	
8.6 本章小结	声模式(Noise)	207
习题	(4) 系统延迟	207
第9章 未来的机器人	(5) 一种简单机器人	207
9.1 对朦胧前景的部分回答	2. 行为与仲裁	208
——与时俱进	(1) 巡航行为(Cruise)	208
9.2 研究思路	(2) 逃离行为(Escape)	208
9.3 未来的驱动系统		



(3) 避障行为(Avoid)	209	(3) 光强定位仿真(Gizmo)	211
(4) 沿墙行走行为 (Wall Follow)	209	5. 用户界面	212
(5) 归航行为(Home)	209	(1) 仿真环境编辑器 (World Editor)	212
(6) 反向飞蛾行为(Anti-Moth) ...	209	(2) 机器人编程器 (Robot Programmer)	212
(7) 暗中拒推行为(Dark-Push) ...	209	附录 C 常用函数	213
(8) 伦敦行为(London)	209	1. 削波函数	213
(9) 光强定位行为(Gizmo)	209	2. 渗漏积分器	213
(10) 遥控行为(Remote)	209	3. 滑动平均计算	215
3. 任务	210	4. 角度计算	216
(1) 收集任务(Collection)	210	附录 D 伪码	219
(2) 光强定位任务(Gizmo)	210	附录 E 参考文献	221
(3) 伦敦任务(London)	210		
4. 仿真	211		
(1) 收集仿真(Collection)	211		
(2) 伦敦仿真(London)	211		

引 言

移动机器人编程有很多方法：最简单的机器人编程方法采用拼接方式 (solder)^①实现，这种方法直接将传感器感知信息同电动机驱动命令相连；复杂机器人往往采用高级语言编程，这些高级语言同应用于人工智能领域的 Lisp 和 Java 语言相类似。然而，无论采用什么方式，所有的机器人程序都具有一定的体系结构。

初级的机器人研究人员在编写机器人程序时经常采用自组织结构 (organic)，程序内容随着机器人功能的添加不断丰富。采用这种结构方式进行程序设计不用遵循什么基本原则，也不需要某些方法论的指导。程序设计员每想到一个机器人功能，就编写相应的代码实现该功能；当下一个功能在设计员的脑海中出现时，将这个功能的程序代码同以前的代码相合并。随着程序编写过程的进展，这种自组织结构程序将会变得越来越没头没尾，实现各种功能的代码段相互交织在一起；同时，在程序的运行过程中经常会出现一些魔术数字 (magic number)，需要考虑的特殊情况也会变得越来越多。

采用自组织结构方法是可行的，如果有足够的时间、耐心和代码存储空间，程序设计人员完全可以按照这种结构强制编写出能够满足期望目标的机器人程序。但是，由于缺乏机器人专用原则的指导，编写的程序会越来越令人费解。程序设计人员在实现一个功能后，为了实现下一个功能往往要花费更多的时间去了解前面程序的结构和意图。此外，设计人员还不得不在自己的程序中保留一些无用的功能代码，尽管这些代码的存在增大了程序在运行过程突然出现故障的可能性，但由于程序中的各个代码段相互交织、相互耦合，如果删除了其中某段代码，即使这段代码是无用的，谁也不能保证剩余代码是否能够正常运行。在这种情况下，即使程序设计员采用先进的模块化设计思想，借鉴其他一些很好的编程实践经验，机器人的程序也会变得相当繁琐，性能也会比较脆弱。

1. 机器人和计算机的区别

机器人和计算机是完全不同的，这是一个基本事实。由于那些从事机器人研究的初级人员对这一点缺乏必要的认识，所以在程序设计过程中经常会遇到一些

① 这种机器人技术完全不同于本书所阐述的微处理器系统，关于这一点，可以参阅 Mark Tilder 的创新性工作，参阅网址：<http://www.nis.lanl.gov/projects/robot/>。



麻烦。机器人程序设计和计算机程序设计的目标不同，对计算机和机器人的约束也不一样，了解这些差别至关重要。研究人员想要设计出有效的机器人程序，必须理解和重视这些差别。

(1) 串行和并行

程序设计人员在计算机编程过程中所掌握的直觉知识不能直接用来为机器人设计程序，否则必然的结果是失败。导致程序设计人员这种直觉知识应用失败的一个原因是串行执行和并行执行的问题：大部分的计算机程序采用串行方式执行就能满足相应的要求，而机器人程序则需要并行执行。

典型的计算机程序设计通常采用先计算，然后返回结果的方式，即使像视频游戏那样的强交互性增强图形计算机程序，也都是采用这个基本方法。计算过程按照设定步骤顺序执行，一般情况下，前一个步骤的输出将成为下一个步骤的输入。获得计算结果所需要的时间为每步操作所消耗时间的总和。因此，计算机的计算速度越快，性能也就越好，用户得到计算结果所需要的等待时间也就越少。

换句话说，处理速度较快的计算机在同样的时间内要么能够提供更为精确的计算结果，要么能够进行更多的计算。对视频游戏而言，计算机的处理速度越快，显示分辨率越高，游戏中的各种模型也就越真实。

然而，得到计算结果并不是自主移动机器人的目的。机器人是为了像一个生物体一样，完成一定的任务，或者在避免危险和陷阱的情况下维持自己的某个特定状态。机器人在运行过程中必须时刻留心与之相关的所有情况，避免发生意外。例如，不要和环境中的任何物体发生碰撞；不要从台阶上摔下去；电源的使用不能过量，否则会造成充电困难。如果机器人不能做到这一点，比如机器人将自己的全部精力都放在避免同踢脚板发生碰撞上，而没有注意到楼梯边缘的话，那么将会有灾难性的后果发生。同计算机相比，机器人发生意外所造成的后果要严重得多。

(2) 规划和机会

典型的计算机程序按照规划顺序执行每项操作，直到计算出所需结果。但是，自主机器人则需要具有根据机会进行处理的能力。有时，机器人在执行某项操作前已经处于目标状态，只要能够认识到这一点，它就不需要做任何事情。下面我们以机器人充电为例对此进行详细说明。当电池电压变低时，机器人应该能够自主移动到充电器的位置进行充电。基于规划的充电程序设计思路可能是这样的：机器人首先寻找指示房间中间位置的信标，然后走到信标位置，旋转相应角度使之面向充电器，一直前进，当碰到指示充电器的局部信标时，机器人停下来