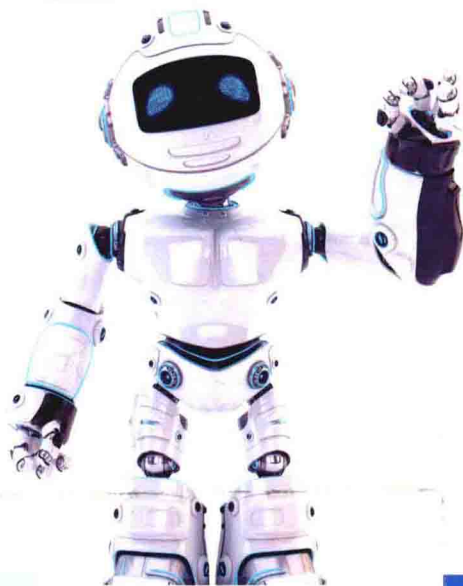




实用机器人设计

竞赛机器人

Practical Robot Design: Game Playing Robots

贾甘纳坦·坎尼亚 (Jagannathan Kanniah)

[新加坡]

M. 菲克雷特·埃尔坎 (M. Fikret Ercan)

著

卡洛斯 A. 阿科斯塔·卡尔德隆 (Carlos A. Acosta Calderon)

肖军浩 李鹏 耿丽娜 郑志强 译



机械工业出版社
China Machine Press

实用机器人设计

竞赛机器人

Practical Robot Design: Game Playing Robots

贾甘纳坦·坎尼亚 (Jaganathan Kaniah)
[新加坡] M. 菲克雷特·埃尔坎 (M. Fikret Ercan)
卡洛斯 A. 阿科斯塔·卡尔德隆 (Carlos A. Acosta Calderon)
著

肖军浩 李鹏 耿楠娜 郑志强 译

藏书



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目(CIP)数据

实用机器人设计——竞赛机器人/(新加坡)坎尼亚(Kanniah, J.), (新加坡)埃尔坎(Ercan, M. F.), (新加坡)卡尔德隆(Calderon, C. A. A.) 著; 肖军浩等译. —北京: 机械工业出版社, 2016.3

(机器人设计与制作系列)

书名原文: Practical Robot Design: Game Playing Robots

ISBN 978-7-111-53601-7

I. 实… II. ①坎… ②埃… ③卡… ④肖… III. 机器人—设计 IV. TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第095689号

本书版权登记号: 图字: 01-2014-2857

Practical Robot Design: Game Playing Robots by Jagannathan Kanniah, M. Fikret Ercan, Carlos A. Acosta Calderon (ISBN 978-1-4398-1033-0).

Copyright © 2014 by Taylor & Francis Group, LLC.

Authorized translation from the English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC. All rights reserved.

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 CRC 出版公司出版, 并经授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

本书中文简体字翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何内容。

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

实用机器人设计——竞赛机器人

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: 刘立卿

责任校对: 殷虹

印刷: 北京文昌阁彩色印刷有限责任公司

版次: 2016年5月第1版第1次印刷

开本: 186mm×240mm 1/16

印张: 19.25

书号: ISBN 978-7-111-53601-7

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

机器人比赛是一种能培养青少年学生动手解决实际问题的能力和创新思维的有益活动，国内和国际上广泛开展了各类机器人比赛。由于机器人是一个典型的多学科交叉融合产物，所以能有一本介绍制作机器人基础知识的书是非常有必要的。

本书正是一本可以指导青少年学生开展竞赛机器人设计的教材或参考书。正如书名所表明的，本书特别针对要参加机器人比赛活动的机器人初学者、爱好者及大学生们，为他们提供制作竞赛机器人所需的全部关键基础知识和制作步骤的实际指导，并通过实例研究展示了机器人制作和调试的必要过程。译者有十多年指导学生参加各类机器人竞赛活动的经历和体会，认为这是一本难得的知识点覆盖全面、实用性强，且适应我国大学生和职业技术学院学生水平的机器人制作教材或参考书，能满足学生开始设计制作自己的机器人并参加广泛开展的机器人比赛的基本需求。

从内容上，除第1章外，后面内容可分为相对独立的四个部分。第一部分(第2~6章)涉及机器人的基础、基本传感器及驱动机构及器件选型，这是制作机器人所需的第一步。第二部分(第7~9章)包含了让机器人能按指令动作的必要的控制基础及控制器设计。第三部分(第10章)为实例研究，通过平衡杆机器人和爬壁机器人的实例分析，把前两部分的内容在实际竞赛机器人设计制作中进行综合运用，具有很强的指导性。第四部分(第11、12章)介绍了使竞赛机器人具备一定的智能所需的基础知识，并给出了算法实现案例。读者可以根据基础和需求的不同，选取不同的部分作为重点进行阅读和实践。

制作竞赛机器人是一门实践性很强、需要多人协作的科学活动，译者建议读者能组成机器人制作团队，并结合实践开展这方面的学习，这将会更加显现出本书的实用性。

本书的前言和第11、12章由肖军浩译，第7~9章由李鹏译，第2、3章由耿丽娜译，郑志强翻译了其余章节，并对全部译稿进行了统稿。在翻译过程中还得到了郭帅、孔维杰、黄玉玺、黄彦博、程球、陆运佑、蒋涛文等的帮助。我们在翻译过程中力求译文准确，但本书涉及面很广，受译者水平限制，错误、欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

肖军浩、李鹏、耿丽娜、郑志强

前言 Preface

机器人竞赛(game)和比赛(competition)是从主流机器人研究中派生出来的,在工科学生、机器人学爱好者和机器人迷中很知名的活动。过去的十年中,世界各地组织了几百场机器人比赛活动。随着通过网络可以较容易地获得实惠的机器人部件或模块,人们对机器人竞赛的兴趣也达到了前所未有的高度。机器人竞赛是一种富有激情的寓教于乐的活动。

像其他工程领域一样,竞赛机器人的发展速度也是令人难以置信的。过去十年内机器人竞赛的复杂程度大幅度增加,为适应这些竞赛而研制的机器人越来越灵巧精密,这使得竞赛机器人不仅适合于训练学生,更是一条让学生学习工程理念,并建立起理论到实践间联系的有效途径。无须多说,机器人是一个多学科综合的对象,它涉及不同的工程和科学学科,如电气工程、机械工程、计算机科学等等;它甚至是一个学科不同课程的统一平台,例如电气工程课程系列中的电子学、微处理器、电机和控制原理等,其中每一门课都有大量独立的教学和研究内容,机器人平台可以将这些领域自然地整合到一起。然而,对于学生和机器人爱好者,如此广泛的材料来源让人不知所措,本书的主要目的就是为竞赛机器人设计制作提供一个初始切入点和立即可用的知识。

现在有大量的期刊、专题讨论会、图书以及网络在线资源可为机器人爱好者所用,它们还提供了许多有创意的想法。竞赛机器人已取得飞速发展,前面所提到的比赛也越来越复杂。设计竞赛机器人所需的知识和经验要求对工程概念有更好的理解。如类人机器人足球运动员和爬壁机器人等机器人的应用,不仅要求有机器人智能和编程的专门知识,还要求良好的机构设计以实现准确的反应和行动。因此,在本书中,我们提供一些基本概念并展示它们在机器人设计过程中的作用。我们将在第5章至第9章专门讨论正确选择减速器及执行机构,以及建模和底层的机器人运动控制;第10章将结合一些实例研究介绍这些基本概念在竞赛机器人中的应用。

本书的作者从事竞赛机器人研究,并在十多年中和他们的学生及同事一起设计了许多机器人。本书是从暑期课程讲义(为以竞赛机器人为毕业设计课题的学生准备的)整理而成的。我们期望本书能使本科学生在理解必要的基础知识和不同工程领域如何在机器人上得以融合方面得到帮助。我们期望学生和机器人爱好者,在他们力图搭建很酷的机器人并在机器人竞赛中获得乐趣的过程中,能从本书中受益。

致谢

本书对作者多年在新加坡理工学院实施竞赛机器人活动及其研究成果进行了总结。感谢我们的所有学生，为了参加比赛，他们在实验室花费了很长时间设计、建造和调试机器人。他们的热情和动力感染了我们，我们也分享了他们的乐趣。我们特别感谢 Jacqueline Oh、Lius Partawijiya、Mohd Zakaria 和 Zar Ni Lwin，谢谢他们在机器人设计方面的兴趣和专业性，以及这些年来他们提供的所有技术支持。

关于作者 About the Authors

Jagannathan Kanniah 于1969年及1971年在印度 Annamalai 大学分别获得电气工程学士及硕士学位，1983年在加拿大 Calgary 大学获得博士学位。他是 IEEE 高级会员、IET 会员、注册工程师。1971年至1978年，他在印度的不同机构担任过教职；1982年至1983年，在加拿大的 Calgary 大学做博士后工作。离开加拿大后，他加入新加坡理工学院，并晋升至首席讲师。期间，他于1993年到瑞典的 Lund 技术学院做了3个月的访问学者，1999年到麻省理工学院做了3个月的访问学者。在新加坡理工学院，从1994年起开始担任机器人与自动化组的部门主管，从1996年起开始担任新加坡机器人竞赛中心的技术带头人和管理者，直至2007年退休。他在新加坡机器人竞赛中心继续工作到2011年。他的研究兴趣包括电力系统、自适应控制、仪表和机器人。他发表了35篇以上的论文，其中包括多篇期刊论文。多年来他指导了许多学生小组制作机器人，并在参加新加坡机器人竞赛活动中获得了大量的奖项。

M. Fikret Ercan 于1987年及1991年在土耳其 Dokuz Eylul 大学分别获得电子和通信工程学士及硕士学位。1998年在中国香港理工大学获得博士学位。他是 IEEE 高级会员和 IEEE 海洋分会会员。他感兴趣的研究领域为图像处理、机器人及计算。他编写《数字信号处理基础》(Pearson, 2009)及另外两本书的部分章节，发表了80多篇论文，包括期刊上的论文。在开始他的教学生涯之前，他作为研发工程师，在土耳其、中国台湾和香港等地的电子与计算机企业工作过。他现在是新加坡理工学院的高级讲师，除了图像处理与计算方面的研究外，从2000年开始他还参与到机器人竞赛活动中，他带领的学生队伍参与了地区的和海外的比赛。

Carlos A. Acosta Calderon 于2000年在墨西哥 Pachuca 技术学院获得计算机系统学士学位，于2001年和2006年在英国 Essex 大学分别获得计算机科学(机器人和智能机器)硕士学位和博士学位。目前他是新加坡理工学院电气与电子系讲师。他的研究兴趣包括社交机器人、多机器人系统协同、模拟学习和类人机器人。他编写了两本书中的章节，在期刊和会议上发表了50多篇论文。他还是 RoboCup(机器人世界杯)类人组比赛技术委员会成员，RoboCup 新加坡公开赛组委会成员。他从2006年起参与机器人竞赛，并指导学生组队参与了地区的和 international 的机器人赛事，包括 NJRC、WRO、RoboCup 和 SRG。

Contents 目 录

译者序

前言

关于作者

第 1 章 竞赛机器人 1

1.1 概述 1

1.2 机器人竞赛和工程教育 1

1.3 新加坡的机器人竞赛 2

1.3.1 平衡杆机器人竞步 2

1.3.2 爬壁机器人竞赛 2

1.3.3 机器人聚类 3

1.3.4 类人机器人比赛 3

1.3.5 其他比赛及开放类别 4

1.4 世界范围的机器人竞赛 5

1.5 全书概览 9

参考文献 10

第 2 章 机器人技术基础 11

2.1 机器人系统简介 11

2.1.1 机器人的专用术语 11

2.2 坐标变换和空间移动物体的 定位 12

2.2.1 复合旋转 14

2.2.2 齐次变换矩阵 15

2.2.3 复合变换 16

2.2.4 物体的数学描述 18

2.3 移动机器人的轮式驱动 方式 25

2.3.1 差动驱动 26

2.3.2 Ackermann 操纵(类似汽车 驱动) 27

2.3.3 履带驱动 28

2.3.4 全向轮驱动 28

2.3.5 里程计 29

2.3.6 实例研究: 一个差动驱动 机器人的里程计 29

2.4 机械臂 36

2.4.1 前向运动学解决方案 37

2.4.2 逆向运动学解决方案 37

2.4.3 实例研究: 三连杆铰接式 机械臂 38

参考文献 42

第 3 章 传感器 43

3.1 用于竞赛机器人的传感器 44

3.1.1 测量机器人速度 44

3.1.2 测量机器人朝向和 倾角 46

3.1.3 测量距离 47

3.1.4 颜色检测 50

参考文献 52

第 4 章 机器人视觉 53

4.1 概述 53

4.2 机器人摄像系统 54

4.3 图像生成 54

4.4 数字图像处理基础 57

4.4.1 颜色和颜色空间模型 57

4.5	基本图像处理运算	59
4.5.1	卷积	59
4.5.2	平滑滤波	61
4.6	特征提取算法	62
4.6.1	阈值法	62
4.6.2	边缘检测	65
4.6.3	颜色检测	67
4.7	符号特征提取方法	69
4.7.1	霍夫变换	70
4.7.2	连通区域标注	75
4.8	实例研究:着色球的跟踪	80
4.9	小结	82
	参考文献	82

第5章 电机和驱动系统基本

原理

5.1	机器人执行机构	84
5.2	电力执行机构	85
5.2.1	发电和电驱动的基本 概念	85
5.2.2	直流电机	86
5.2.3	交流电动机驱动	90
5.3	机器人驱动的特殊要求	91
5.3.1	直流永磁电动机	91
5.3.2	伺服电动机	91
5.3.3	步进电动机	92
5.3.4	无刷直流电动机	97
5.4	驱动系统	100
5.4.1	直流电动机控制	100
5.4.2	步进电动机驱动器	102
5.4.3	无刷直流电动机驱动器	105
5.5	小结	108
	参考文献	109

第6章 移动机器人电机功率选择 和减速箱传动比设计

6.1	移动机器人减速箱传动比	110
-----	-------------------	-----

6.2	驱动电机的功率要求	111
6.2.1	电机惯性和摩擦力的 作用	112
6.3	典型的电机特性参数	113
6.4	线性运动系统的摩擦力 测量	114
6.5	减速箱传动比的初步研究	116
6.6	进一步研究以传动比为函数的 系统性能	120
6.7	步进电机减速箱传动比 设计	122
6.8	非地面移动机器人的设计 流程	123
6.9	小结	128
	参考文献	128

第7章 控制基础

7.1	机器人控制理论	129
7.2	对象的类型	130
7.2.1	线性或非线性对象	130
7.2.2	时不变或时变对象	130
7.3	基于控制系统的分类	131
7.3.1	模拟或数字系统	131
7.3.2	开环或闭环系统	131
7.4	智能机器人结构的需求	132
7.5	一个典型的机器人控制 系统	133
7.6	控制的发展趋势	134
7.7	小结	134
	参考文献	135

第8章 数学建模、传递函数、状态

方程和控制器回顾

8.1	概述	136
8.2	建模的重要性	136
8.3	传递函数模型	137
8.3.1	传递函数的不同形式	138

8.4	建模的步骤	138	9.3.2	信号的 Z 变换	172
8.5	控制系统中常用到的基本 部件	139	9.4	数字系统中的对象表示	175
8.5.1	电气元件	139	9.4.1	ZOH 的传递函数	176
8.5.2	机械部件	140	9.4.2	包含 ZOH 的对象的 Z 变换	176
8.6	方框图概念	141	9.4.3	Tustin 近似	177
8.6.1	方框图化简	141	9.5	闭环系统的传递函数	177
8.7	一些系统示例	142	9.5.1	应用数字仪表的系统	179
8.8	状态方程	148	9.6	离散时间系统的响应及 Z 反 变换	180
8.8.1	从微分方程建立状态方程 的基本概念	148	9.6.1	部分分式法	180
8.8.2	从对对象的认知建立状态 方程	149	9.6.2	差分方程法	180
8.8.3	直接从传递函数建立状态 方程	151	9.6.3	用 MATLAB 求 时域解	181
8.9	用传递函数求时域解	157	9.7	典型控制器的软件实现	183
8.9.1	质量块-弹簧-阻尼器闭环 系统的解析解	157	9.7.1	积分计算	183
8.9.2	质量块-弹簧-阻尼器闭环 系统的模拟解	158	9.7.2	微分计算	184
8.9.3	PID 控制器的响应	159	9.7.3	数字控制器的实现	184
8.10	状态方程的时域解	161	9.8	离散状态空间系统	185
8.10.1	用解析方法得到 时域解	161	9.8.1	从离散传递函数建立离散 状态空间系统	185
8.11	调节控制器和伺服控制器	166	9.8.2	从连续状态空间模型建立 离散状态空间模型	185
8.12	小结	166	9.8.3	离散状态空间系统的 时域解	188
参考文献		167	9.9	离散状态反馈控制器	191
参考文献		167	9.9.1	状态可控性的概念	191
			9.9.2	状态可观测性的概念	192
			9.9.3	采样数据系统的可控性和 可观测性的共同条件	193
			9.9.4	用状态反馈设计极点配置 调节器	194
			9.9.5	稳态二次型最优控制	197
			9.9.6	简易伺服控制器	199
			9.10	典型的控制器硬件实现	202
			9.11	小结	203
			参考文献		203

第 9 章 数字控制基础和控制器设计

168

9.1 概述

168

9.2 数字控制概览

168

9.2.1 信号采样器

169

9.2.2 数字控制器

170

9.2.3 零阶保持器

170

9.3 数字系统中的信号表示

171

9.3.1 采样过程

171

第 10 章 平衡杆和爬壁机器人

实例研究 205

10.1 概述 205

10.2 平衡杆机器人 206

10.2.1 数学建模 206

10.2.2 摆杆角控制的传递函数 213

10.2.3 平衡杆机器人状态模型 214

10.2.4 从机器人和电机数据建立平衡杆机器人的状态模型 217

10.2.5 伺服输入用作补偿的极点配置控制器 218

10.2.6 伺服输入用作补偿的 LQC 控制器 221

10.2.7 应用 DSP 处理器实现平衡杆机器人控制器设计 224

10.2.8 2 自由度平衡杆机器人 229

10.2.9 通过实验估计 PBR 的角摩擦系数 b 230

10.3 爬壁机器人 234

10.3.1 蹼式爬壁机器人 234

10.3.2 使用动态吸力的爬壁机器人设计 238

10.4 小结 240

参考文献 240

第 11 章 建图、导航和路径

规划 241

11.1 概述 241

11.2 感知 241

11.2.1 从传感器数据到知识模型 242

11.2.2 地图表达 244

11.2.3 量度图 244

11.2.4 拓扑图 248

11.3 导航 250

11.3.1 墙沿跟踪 250

11.3.2 应用矢量场直方图方法避障 252

11.4 路径规划 259

11.4.1 波前规划器 259

11.4.2 使用人工势场法进行路径规划 261

11.4.3 使用拓扑图进行路径规划 268

参考文献 272

第 12 章 机器人自治、决策和

学习 273

12.1 概述 273

12.2 机器人自治 273

12.3 决策 274

12.3.1 经典决策 275

12.3.2 反应式决策 275

12.3.3 混合决策 281

12.4 机器人学习 281

12.4.1 人工神经网络 282

12.4.2 Q 学习法 291

12.5 小结 297

参考文献 297

第 1 章

竞赛机器人

1.1 概述

机器人是一个高速发展并广受欢迎的工程领域。它广泛涉及多个学科,如电气工程、机械工程、计算机科学、生物学、社会学等。机器人的大发展源于它在制造业中的应用,装配生产线的自动化是其主要推动力。机器人能比人更快、更精确、更经济地完成重复的、例程(平凡)的工作,机器人在工业中的应用自然增加了生产效率和灵活性。因此,很长一段时间内,机器人在制造业和工业界受到欢迎。然而,刚过去的十年内,机器人在制造业之外的许多领域得到了应用,如服务机器人、医疗、训练和教育等;计算机、传感器、半导体和人工智能技术的进步对机器人也是很有帮助的。我们现在看到许多有趣的例子,如类人机器人与人互动,机器人随乐曲跳舞,机器人演奏乐器,机器人踢足球,或者机器人在手术室辅助外科手术等(Baltes et al. 2010; Gao et al. 2010; Kaneko et al. 2009; Oguar et al. 2006; Talor and Stoianovici 2003)。

随着高等教育的需要,一类称作竞赛机器人的特殊机器人最近浮现出来。它也被称为寓教于乐机器人,因为它集成了教育和娱乐功能。竞赛机器人使得学生的学习和娱乐变得更有趣。在本书中,竞赛机器人是我们的研究重点。我们试图给高年级的学生提供在进行机器人相关设计时用的参考书,或给机器人爱好者提供一本在更高层次上理解机器人的指导书。我们的重点主要在机器人实现上,并试图展示它与在工程技术类教材中学到的常规科目的联系。

1.2 机器人竞赛和工程教育

竞赛机器人本来是娱乐机器人,也在工程教育中得到了很好的应用(Malec 2001)。参与“机器人奥林匹克赛”的激情产生的兴趣,远比常规的其他项目带来的兴趣大得多(Martin 2001)。不用说,机器人容易引起年轻人的兴趣。即使是在看着机器人科幻电影长大的更年长的一代中,也能发现制造机器人的兴趣。然而,制造机器人要求对多个不同的工程和科学领域有适当理解,例如机械、模拟和数字电路、编程、微控制器和控制原理。我们多年的经验表明,投入到机器人制作中的学生,不出意料地都积极学习这些领域甚至更多领域的知识。他们对理论与实践相结合有更好的理解。这些观察结论也得到了工程教育研究报告的支持。例如:由 Pisciotta et al. (2010) 完成的研究结果表明,参与机

机器人项目的学生在数学、电子学和逻辑学方面有更好的能力表现。我们多年与学生进行机器人项目的经验显示,学生行为主要有三方面的变化:一是他们更自主自觉地学习;二是他们的工程技能信心显著增强;三是他们学到了合作并成为团队的一员,因为机器人竞赛项目常常是团队项目。这些都是工业界高度需求的特质。

1.3 新加坡的机器人竞赛

在过去的十年内,机器人竞赛变得非常知名并在世界范围内开展起来。现在在世界各地举办有大量的机器人竞赛、庆祝活动和比赛。1991年,首届新加坡机器人节举行,以此产生机器人意识。后来这个活动被重新命名为“新加坡机器人竞赛”(SRG)。第一届SRG赛事在1993年举行,从那时起,每年举行这类比赛,并引起了很大的关注(SRG 2012)。这个比赛向公众和教育机构开放。刚开始时的比赛项目不是很多,今天,比赛种类已发展到15种以上,而且其复杂程度一年比一年增加。有代表性的是:比赛规则每3年更新,以便将最新的技术进展纳入进来,增加比赛的挑战性。例如:平衡杆机器人竞步刚被用来比赛时,一个移动机器人在从一个点移动到另一个点时需要保持一个可自由下落的杆的平衡。现在,挑战性增加了,机器人在平衡杆的同时,需要在一个有不同坡度的平台上运动,还要避开随机放置在其路径上的障碍。目前,有14类机器人,例如,平衡杆机器人、智能机器人、机器人聚类、爬壁机器人、相扑机器人、有腿机器人竞步等。可以从网站上找到各类比赛(SRG 2012)。接下来的各节,我们给出几个有技术挑战性的竞赛项目的简介。

1.3.1 平衡杆机器人竞步

这个竞赛项目是从一个著名的控制原理问题——倒立摆的控制得到的灵感。一个机器人支撑一个可以绕水平轴自由转动的倒立摆杆,通过移动其支撑点保持摆杆竖立的平衡。竞赛场地由一个 $3\text{m}\times 1.5\text{m}$ 的水平木制地板组成,机器人被要求在出发区将摆杆竖立平衡,然后移动到场地的另一端,再返回到出发区,其间要通过不同的坡面和障碍。以上运动循环被不断地重复,机器人的排名以5分钟内完成的循环次数而定。图1-1展示了一个在比赛中的平衡杆机器人。

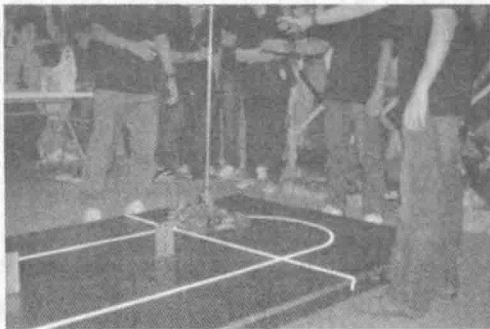


图 1-1 平衡杆机器人竞步比赛

1.3.2 爬壁机器人竞赛

这项比赛的目标是展示机器人垂直和水平攀爬能力。比赛场地由厚木板搭成2米见方的地板、墙和天花板。比赛中,机器人从地板的前边部分开始,朝墙方向运动,爬上墙,到达天花板,漫游到天花板的边沿,最后回到起点。机器人以完成任务所花的时间排序。

比赛场地是非磁性的,这使得该项赛事更具有挑战性。许多参加该项比赛的机器人利用气压原理和其他创新性的技术以便在最短时间内完成任务。图 1-2 展示了一个沿天花板移动的机器人。



a) 一个爬壁机器人的精细调试

b) 正在攀爬的机器人

图 1-2 爬壁机器人

1.3.3 机器人聚类

该项比赛的目标是建造一对自主和协作的移动机器人,它们的任务是寻找、探测和收集着色的小球,并将其放入指定的容器内。每一个容器对应一种颜色,且位于比赛场地的相反的一边。在场地上有 2 种不同颜色的小球,且是随机分布的。对机器人的主要约束是它们必须在自己专属的区域内操作。每个机器人被允许在指定收集点放置一种指定的着色小球,这也就意味着:在某些时间点上,机器人必须交换它们收集到的着色小球,以完成任务。例如,一个分工收集蓝色小球的机器人,也可能收集到落在其区域内的绿色小球,但是,它必须将绿色小球传递给它的同伴,也就是那个在其专属区域内负责绿色小球的机器人。场地的中心部分规定为机器人交换小球的地方,那里允许两个机器人同时存在。这个竞赛涉及自主和移动机器人的原理,以及多机器人协作、协同和通信的逐步理解。图 1-3 展示了机器人聚类比赛的情景。

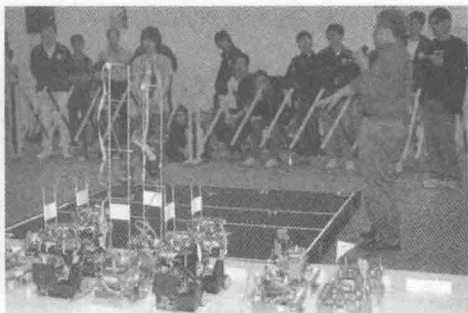


图 1-3 机器人聚类比赛

1.3.4 类人机器人比赛

类人机器人比赛的主要目的是激励类人机器人技术的发展,以使机器人能像人类一样行走和奔跑。比赛在双足机器人之间展开,没有预先确定的竞步区域,参赛机器人在自然的表面上比赛,地面可能是地毯、水泥地面或木地板等。然而,竞步路线是由白色反光标志线标出的。从出发点沿标志线到达终点用时最短的机器人获胜。图 1-4 展示了这类比赛的一个场景。

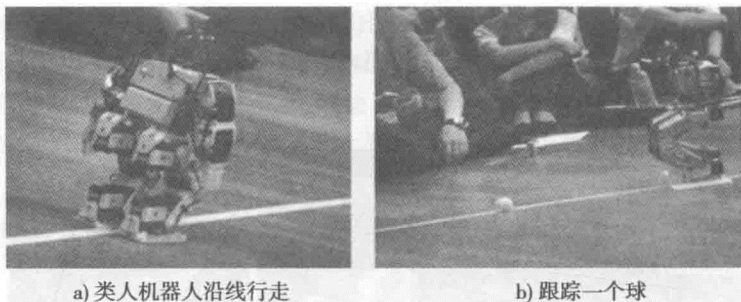


图 1-4 类人机器人竞赛

1.3.5 其他比赛及开放类别

除前面的各类机器人竞赛之外,还有许多更有趣的竞赛项目,一起组成了由新加坡机器人协会组织的 15 类以上的机器人竞赛。每一类竞赛都对应着特殊的机器人技术挑战。例如,智能机器人就瞄着机器人自主性、目标识别、操作等方面,每个队被要求设计和制作一个或多个自主机器人,用来收集分散在比赛场地内的不同形状和颜色的目标物。6 分钟内,收集到的物体要被分置到 3 个不同的依颜色而区分的目标容器内。同样,水下机器人是为了提升对海洋工程的兴趣。相比于陆地机器人,设计水下机器人代表着全新的挑战,如控制机器人的浮力以及自主、感知和水下操纵能力。比赛期间,参赛队试着用遥控类(ROV)或自主类(AUV)水下机器人去完成给定的任务。在机器人相扑比赛中,参加者制造移动机器人,这些机器人要能把对手推出圈外,这个竞赛要求对机器人动力学、摩擦力、能源和电机控制方面有深入理解。另外,一个开放的类别允许参赛者表现他们的创新性和技术技能,参赛者展示机器人可以完成的有趣的任务。图 1-5 展示了这些类型的竞赛场景。



图 1-5 其他有趣的新加坡机器人竞赛

1.4 世界范围的机器人竞赛

机器人竞赛正在世界各地涌现,每个比赛都有其特定的目标和规则。有些比赛是从国家和地区举办的活动开始的,不过很快就变成了国际赛事。在这一节中列出所有的比赛是不可能的,不过我们可以简短地介绍那些成熟且知名的比赛。

微老鼠(Micromouse, 又称电脑鼠): (机器人走迷宫)这可能是最早的机器人比赛。在这一赛事中,一个机器人老鼠试着走出一个由 16×16 单元组成的迷宫。这里面的技术挑战包括找到一条最优的路径并在最短时间到达目的地。这个比赛在世界范围内举行,也是新加坡机器人竞赛的项目之一,关于这个比赛的描述和它的规则,可以在 SRG (2012)中找到。

FIRA: 这是世界上最成熟的机器人比赛赛事之一。1995 年起源于韩国,从那时起,该赛事每年在不同的地点举办一次。国际机器人足球协会联合会(FIRA)于 1997 年 6 月成立(FIRA 2012)。两个机器人队踢足球的首创性提出,为研究多智能体提供了一个好的平台。参赛者需要处理协作、分布式控制、有效通信、自适应和可靠性问题。在 FIRA 中又分 7 组,每组关注不同种类的机器人和问题,分别是: HurSot(类人机器人), AmireSot(全自主板上机器人), MicroSot(每队由 3 个体积为 $7.5\text{cm} \times 7.5\text{cm} \times 7.5\text{cm}$ 的机器人组成), NanoSot(每队由 5 个体积为 $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 5.5\text{cm}$ 的机器人组成), AndroSot(3 个遥控机器人组成的队,每个机器人的最大尺寸为 50cm), RoboSot(3 个全自主或半自主机器人组成的队,每个机器人的尺寸为 $20\text{cm} \times 20\text{cm} \times$ 高度不限), 以及 SimuroSot(5 对 5 及 11 对 11 的仿真比赛)。

RoboCup: RoboCup 是一个促进机器人和人工智能研究的国际倡议,通过提供一个标准平台来进行多种技术的集成与测试(RoboCup 2012)。到 2050 年,RoboCup 联合会把目标定为:开发足够先进的自主类人机器人,与人类足球世界杯冠军队进行比赛。如果机器人能够踢足球并能打败人类足球世界杯冠军队,在这个机器人队上开发的技术将足以用来开发可在任何任务中帮助我们的机器人。

第一届 RoboCup 比赛是 1997 年在日本的名古屋举行的。从那时起,这个比赛已在全世界的各个城市举办过,包括:大阪、不莱梅、亚特兰大、墨尔本和新加坡。今天,RoboCup 世界上最大的机器人事件,从超过 40 个国家的上千名参赛者参加这个年度盛事。它已经成长得很大了,它的影响可以从在各个地区级或国家级的赛事(称为 RoboCup 公开赛)的参赛人数总量看起来,而这些公开赛主要被用于作为参赛队为争取一个参加国际比赛的名额的选拔阶段。

RoboCup 赛事包括比赛、展览和讨论会。比赛主要分为两个大类,儿童和不超过 19 岁的青少年参加的青少年组比赛,以及不限年龄但主要是大专院校学生参加的高年级组比赛。青少年组包括四项赛事:青少年机器人世界杯足球赛(RoboCup Junior Soccer)、青少年机器人世界杯救援赛(RoboCup Junior Rescue)、青少年机器人世界杯舞蹈赛(RoboCup Junior Dance)以及共空间(CoSpace)赛事。为了让年青的工程人员通过对电子器件、硬件和软件的动手锻炼来理解科学和技术知识,青少年机器人世界杯是一个新的使人激

动的方式，它还通过与朋友分享想法，提供学习团队合作的机会。学习资料和创新教学方法的发展，都在青少年机器人世界杯的目标之中。它首先关注于教育，并包含四项挑战：

- 青少年机器人世界杯足球赛是一项挑战，在此种比赛中，参赛队被要求设计和编程 2 个机器人，与对方的一组机器人进行比赛，将一个发射红外线的球踢进指定的球门。将小学和中学的学生分为两个不同的级别。
- 青少年机器人世界杯舞蹈赛涉及实际团队的努力，参赛者被要求创作舞蹈机器人，并编程以使它们随着音乐跳舞。除了为机器人的运动设计舞蹈动作，学生们还被期望参与表演。机器人和学生在一个白色地板的舞台上表演，表演区域的边界由黑色的标志线围成方框。不允许机器人越过边界线。裁判们评估表演的娱乐因素以及用于跳舞的机器人的设计技术。
- 青少年机器人世界杯救援赛是一种挑战，在这种比赛中，机器人需要沿着弯曲的标志线或房间到达指定区域，完成救援任务。整个过程是计时的。救援机器人将从沿线行驶开始，经过不同的房间。在房间内，机器人将继续沿线行驶，而不能与障碍物碰撞和失去对线的追踪；另外，在房间地板上有用机器人可识别的颜色标记的像人体形状的遇难者。一旦救援机器人从遇难者上经过，就闪亮它的 LED 灯，以此表示这个遇难者已被机器人救援。当机器人行进到第二层时，它们遇到最终的挑战。连接两层之间的斜坡对大多数机器人的小电机是一项困难的挑战。对于那些设法到达第二层的机器人，挑战变得更加困难，因为在这个阶段没有线可循，机器人被期望救援遇难者，并找到它们回到斜坡上的路线。当机器人回到它的起点时，任务完成。
- 共空间舞蹈/共空间救援挑战赛(CoSpace Dance/CoSpace Rescue Challenge)是一个教育倡议，通过机器人为年青的头脑提升在工程设计、编程、电子控制以及 3D 仿真世界等的知识和技能。应用虚拟环境提供了操作环境的很大的灵活性，研究人员利用这个环境可以开发和实验新的算法。它不局限于一个机器人，也可能是多个机器人系统。在这个系统中的每个机器人可以由不同的方式控制：自主、半自主或手动。在每种情况下，一个多机器人系统由不同的控制形式混合组成。与其他可用的模拟器相比，这个平台的优势在研究工作要求实际机器人与它们到虚拟对手进行协作时就体现出来了。通过给学生提供虚拟环境和机器人，CoSpace 开发平台使这类研究工作变得容易，它还提供大量的可被控制和被监视的选项，如时间、参赛队的数量、每队中机器人的数量、障碍、目标等。

RoboCup 高年级组比赛包括：RoboCupSoccer(机器人世界杯足球比赛)、RoboCupRescue(机器人世界杯救援比赛)、RoboCup@Home(机器人世界杯家庭组比赛)。还有赞助商的比赛，如 Festo 勤务比赛(Festo 2012)，以及像虚拟现实比赛的表演赛。

机器人世界杯足球比赛：这项比赛的焦点是两个机器人队在一个指定的场地上比赛，以尽可能多地将球进对方的球门获得计分。研究结果主要集中在多智能体的协作与协调，机器人运动学和动力学方面。在这项比赛中又有 5 个类别：小型组、中型组、类人组、标准平台组和仿真组。