

机器人的 创意设计与实践

Contest Robots

—— Creative Design and Implementation

让思维沸腾起来，让智慧行动起来！
开拓创造力，激发想像力，锻炼实际动手能力！

宗光华 等编著



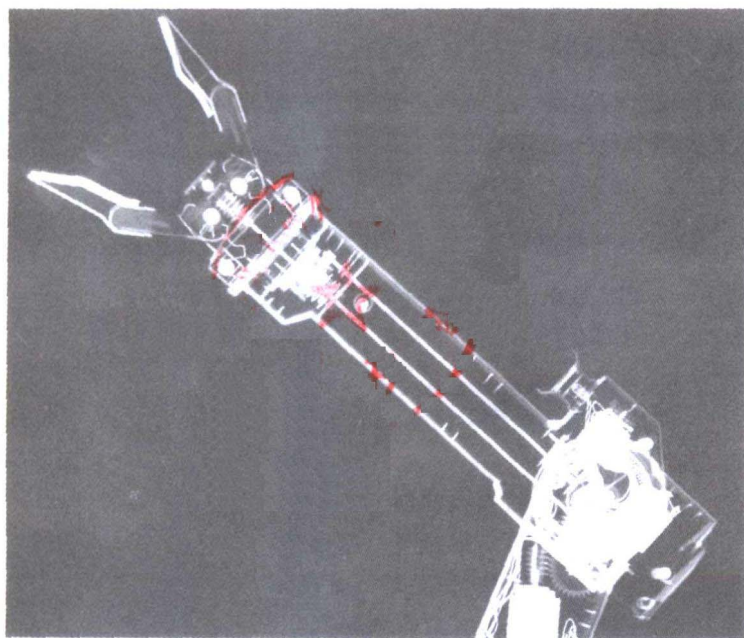
北京航空航天大学出版社

TP242

Z959

机器人的创意设计与实践

宗光华 等编著



QAA84/09

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书介绍如何根据机器人比赛的规则巧妙地构思机器人系统,进行机器人的总体设计;介绍如何综合运用所学的基础知识对移动载体、智能、功能执行机构、传感、运动控制等各分系统进行设计,以及系统检测调试方面的知识;扼要地讲解与比赛机器人的设计制作有关的机械、电子、传感、控制、驱动、材料等方面的基础知识。总之,内容涉及策划、组织、设计、制作、调试与演练等开发的整个过程。

本书可作为大学生课外机器人创意设计与制作的辅导用书,也可以作为理工科学生补充机械电子学、机器人工程、人工智能、计算机控制、生产过程自动化等领域知识的参考书,还可以作为工程师、大专学生和技工提高专业知识的读物。

图书在版编目(CIP)数据

机器人的创意设计与实践 / 宗光华等编著. — 北京 :
北京航空航天大学出版社, 2004. 2
ISBN 7-81077-327-5

I. 机… II. 宗… III. 机器人技术 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 107103 号

机器人的创意设计与实践

宗光华 等编著

责任编辑 胡晓柏

*

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(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:16 字数:358 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-327-5 定价:25.00 元

序 言

“机器人学的进步和应用是本世纪自动控制最有说服力的成就,是当代最高意义的自动化”。这是宋健院士对机器人在上个世纪所取得的成就的精辟概括。进入 21 世纪,人们已经愈来愈亲身地感受到机器人深入产业、深入生活、深入社会的坚实步伐。

近年来,机器人作为机械学、电子学、计算机技术、人工智能等学科的典型载体被广泛地用来作为高校教学和研究的选题之一,机器人专业研究方向如雨后春笋般地出现,机器人赛事也方兴未艾。

目前全世界各国举办的涉及硬件、软件仿真的机器人大赛不下 20 余类。中央电视台于 2002 年 6 月 15、16 日在北京航空航天大学体育馆主办了主题为“抢攀珠穆朗玛峰”的“首届全国大学生机器人电视大赛”,并在 2003 年 11 月举办主题为“太空征服者”的“第二届全国大学生机器人电视大赛”。27 个大学的 32 支机器人代表队参加了首届大赛。这次大赛精彩纷呈,扣人心弦。机器人比赛的宗旨是唤起青少年课外科技活动的兴趣和热情,培养学生的科学创新精神,激发思维的想像力,鼓励理论与实践的结合。机器人比赛寓教于赛、寓教于乐,实现了媒体与科技、媒体与教育的珠联璧合,丰富了大学生素质教育的模式,有利于提高全民族的科学素养,为年轻人展示才华提供了舞台。大学生在此过程中充分品尝到科技攻关的艰辛,享受到创造的快乐,体验到成功的愉悦。有理由相信,经过年复一年的努力,全国大学生机器人电视大赛将成为我国科学普及事业的一朵奇葩,为高科技事业造就一大批后备人才。



本书是考虑到大学生在投身机器人大赛的过程中,面对创意设计和制作实践时可能需要的知识和技能而编写的。大多数对大赛抱有兴趣的学生在他们创意之初或制作之前毕竟对机器人知之甚少,因此本书定位为了一本大学生课外机器人创意设计与制作的辅导用书,当然也可以作为理工科学生补充机械电子学、机器人工程、人工智能、计算机控制、生产过程自动化等领域知识的参考书,还可以作为工程师、大专学生和技工提高专业知识的读物。

“实践出真知”。本书从启迪读者进行比赛机器人设计的创新思维出发,引导读者通过自己动手制作将创意变为现实,起到激发读者创作灵感、拓展知识面、增强实践动手能力的作用。在读者亲征赛场,面临紧张、刺激的机器人挑战,并享受成功喜悦的同时,也能初步感受理论与实践相结合的重要性。

本书由基础篇和竞赛篇组成,共分为12章。第0、1、2、5、7、11章由宗光华撰写,第3章由李大寨、员超(大赛指导教师)撰写,第4、6、9、10章由员超撰写,第8章由刘荣撰写。周正干撰写了第5章的部分内容。宗光华对全书做了详细的补订和编写。北京航空航天大学参加“首届全国大学生机器人电视大赛”的代表队队员吴保童、徐一村、陈进、赵广建、衡进等同学提供了部分素材。在内容的安排上,除介绍如何根据机器人比赛的规则巧妙地构思机器人系统,进行机器人的总体设计外,还介绍如何综合运用所学的基础知识对移动载体、智能、功能执行机构、传感、运动控制等各分系统进行设计,以及系统检测调试方面的知识。扼要地讲解与比赛机器人的设计制

作有关的机械、电子、传感、控制、驱动、材料等方面的基础知识也是必要的。总之,内容涉及策划、组织、设计、制作、调试与演练等开发的整个过程。

本书主要针对理工科大学、大专学生读者群,帮助他们解脱枯燥的课堂讲授的烦恼,在盎然兴趣中学习并享受自己创新实践的成果。课外科技活动应当是现代教育理念的一个重要组成部分,是学校教学计划的一个重要实践环节,是课堂教学的有机补充。

本书以我国大学生(主要以作者们亲自指导的北京航空航天大学代表队)创作的比赛机器人的实例为主线,采取现身说法的叙述方式,容易使读者与作者互动,有参与感。在撰写的形式上,采用学生易于接受和理解的图文并茂的方式。

让思维沸腾起来,让智慧行动起来!

开拓创造力,激发想像力,锻炼实际动手能力!

作 者

2003 年 12 月

目 录

第 1 章 概 述

1.1 机器人名词的由来	1
1.2 机器人赛事	3
1.3 Robocon 和中国“首届全国大学生机器人电视大赛”	12
1.3.1 Robocon 的背景	12
1.3.2 亚太地区大学生机器人比赛	14
1.3.3 中国“首届全国大学生机器人电视大赛”	15
1.4 比赛机器人的性能评价	16
1.5 机器人赛事与创新	17

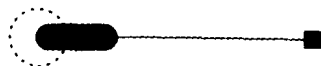
基础篇

第 2 章 比赛机器人的创意与设计

2.1 创意与提案	26
2.2 初步设计	28
2.2.1 初步设计的内容	28
2.2.2 设计任务书	31
2.3 详细设计	31
2.4 调试与演练	32
2.4.1 分系统调试	32
2.4.2 系统总调试	33
2.4.3 演 练	33
2.5 电机选择的方法	34
2.5.1 负载估算方法	35
2.5.2 转动惯量(飞轮矩 GD^2)的计算	39
2.6 材料、构件与轻量化设计	42
2.6.1 材料与型材	42
2.6.2 轻量化设计	43

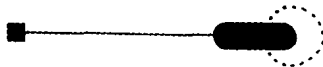


2.7 传感器与控制系统.....	43
第3章 机器人的驱动与控制	
3.1 直流电机的特性.....	46
3.1.1 直流电机的结构特点.....	46
3.1.2 直流电机的运行特性.....	47
3.2 PWM 功率放大电路	50
3.2.1 直流电机的驱动.....	50
3.2.2 PWM 功率放大原理	50
3.2.3 标准的 PWM 功率放大器.....	52
3.2.4 集成 PWM 功率放大器.....	54
3.3 直流电机的伺服控制.....	56
3.3.1 伺服系统的一般结构.....	56
3.3.2 全数字伺服系统.....	57
3.3.3 伺服系统的数字 PID 算法	59
3.3.4 使用集成电机控制器构成的电机伺服系统.....	61
3.3.5 多轴电机运动控制器简介.....	64
3.4 步进电机运行原理.....	68
3.5 步进电机的驱动.....	74
3.5.1 步进电机的单极性驱动.....	74
3.5.2 步进电机的双极性驱动.....	77
3.5.3 步进电机的细分驱动.....	78
3.6 舵机驱动与控制.....	80
3.6.1 舵机的结构及工作原理.....	80
3.6.2 舵机驱动电路.....	80
3.6.3 舵机的控制电路.....	81
3.6.4 几种舵机的参数及使用方法.....	81
3.6.5 舵机应用的例子.....	84
第4章 无线遥控收发装置	
4.1 无线遥控基本原理.....	85
4.2 无线遥控收发模块.....	86
4.2.1 无线遥控接收模块.....	86
4.2.2 无线遥控发射模块.....	88





4.3 无线遥控收发装置·····	90
4.4 遥控距离为 1 000 m 的三通道无线遥控器的调试·····	92
第 5 章 机器人的感觉	
5.1 五官与传感器·····	94
5.2 感知与认识·····	95
5.3 机器人的传感器·····	95
5.4 开 关·····	96
5.5 巡线传感器·····	96
5.5.1 红外光电反射式传感器·····	97
5.5.2 辨色传感器 ·····	100
5.5.3 安装与调试 ·····	101
5.5.4 加大检测距离的方法 ·····	103
5.5.5 由反射光的强度检测距离 ·····	103
5.6 超声波传感器 ·····	105
5.6.1 原 理 ·····	105
5.6.2 超声波距离传感器的应用举例 ·····	107
5.7 旋转编码器 ·····	109
5.8 陀 螺 ·····	110
5.9 加速度传感器 ·····	112
5.10 人体传感器·····	112
5.11 压感传感器·····	112
第 6 章 视觉在机器人比赛中的应用	
6.1 机器人视觉系统的组成及工作原理 ·····	113
6.2 比赛机器人视觉技术的应用 ·····	115
6.2.1 赛球识别 ·····	115
6.2.2 网格识别 ·····	116
6.2.3 对阵形势的实时识别 ·····	116
6.3 图像处理的容错技术与竞赛决策规划 ·····	117
6.4 视觉系统与机载计算机的通信 ·····	119
第 7 章 能 源	
7.1 电 池 ·····	121



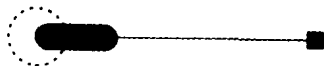


7.1.1 一次电池	121
7.1.2 蓄电池	122
7.2 电池的选用方法	125
7.3 充电器/放电器	126
7.4 CPU 用 5 V 电源电路	127

竞赛实践篇

第 8 章 机器人大赛的规则与创意设计

8.1 “读懂”规则	131
8.1.1 场 地	131
8.1.2 机器人的体量	133
8.1.3 机器人的编组	133
8.1.4 上场队员与机器人的关系	134
8.1.5 赛程与赛制安排	135
8.1.6 其他战术环节	135
8.2 比赛机器人的创意设计原则	138
8.3 比赛机器人的基本机械结构	138
8.3.1 移动方式的选择	138
8.3.2 车体重心分布及其稳定性	150
8.3.3 投球方式选择	151
8.3.4 车体结构	153
8.4 手控机器人	154
8.4.1 手控机器人的战略作用	154
8.4.2 储球和拾球	154
8.4.3 投球和取球	158
8.4.4 线控与遥控	160
8.4.5 手控机器人设计要点	160
8.5 自动机器人	161
8.5.1 多箭齐发 VS 单打独斗	161
8.5.2 快速冲顶 VS 稳扎稳打	162
8.5.3 固定路线 VS 可变战术	163
8.5.4 视觉引导 VS 瞎子爬山	164
8.5.5 自动机器人的投球	165





8.5.6 机器人的对抗	166
第9章 “雪莲花”号与“藏羚羊”号机器人的制作与实践	
9.1 “雪莲花”号自动机器人	168
9.1.1 主要技术规格	168
9.1.2 “雪莲花”号自动机器人的整体设计构思	169
9.1.3 自动机器人的系统构成	169
9.2 “藏羚羊”号手控机器人	186
9.2.1 主要技术规格	186
9.2.2 “藏羚羊”号手控机器人的结构	187
9.2.3 手控机器人的移动载体	188
9.2.4 遥控器	189
9.2.5 手控机器人的策略	189
第10章 机器人系统的调试与演练	
10.1 机器人系统调试与演练的准备	190
10.2 “藏羚羊”号手控机器人的调试	193
10.2.1 分系统调试	193
10.2.2 整机调试	194
10.3 “雪莲花”号自动机器人的调试	196
10.3.1 分系统(模块)调试	196
10.3.2 整机调试	200
10.4 系统演练	204
10.4.1 智能决策	204
10.4.2 决策程序功能模块的划分	204
10.4.3 决策程序的参数	204
10.4.4 数据设计	205
10.4.5 整体攻防策略的运用	208
10.4.6 得分权值	208
10.4.7 投取球个数的关系权值	209
10.4.8 登顶战略的运用	210
10.5 手控机器人与自动机器人的配合	211
10.6 系统总体评价	212
10.7 对抗型实战演练	212



目 录



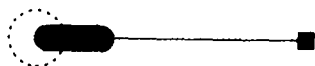
第 11 章 比赛的组织与辅导

11.1 赛前准备.....	214
11.1.1 报 名.....	214
11.1.2 发动与组队.....	216
11.2 临战准备.....	221
11.3 实战——命运掌握在自己手中.....	222
11.4 输赢落定,学无止境	225

附 录

附录 A 首届全国大学生机器人电视大赛主题及规则(2002 年)	226
附录 B 第 2 届全国大学生机器人电视大赛主题及规则(2003 年)	232
附录 C 第 2 届泰国曼谷亚广联机器人大赛简要准备情况	240

参考文献



第 1 章

概 述

1.1 机器人名词的由来

直至 19 世纪,在神话、传说、小说和科学幻想作品中并没有机器人(Robot)这个词。1920 年捷克作家查别克(K. Čapek)写了一出名为《洛萨姆万能机器人公司》(Rossum's Universal Robots)的幻想剧,首创了 Robot 这个科学术语。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”。后来广为流传的 Robot 又演变为“代替人干活的机器”之意。因此可以说,机器人的“生身父母”当数捷克作家查别克。

《洛萨姆万能机器人公司》的剧情十分有趣,在世界各国流传甚广,于是机器人一词开始广泛流行。《洛萨姆万能机器人公司》的剧情梗概如下。

时间:未来。

地点:某岛。

该岛上有一个“洛萨姆万能机器人公司”,大批定制机器人,生意很兴隆。机器人全身零件齐全,从脏器、骨骼、神经,直到皮肤,甚至外貌都酷似人类。它不单博闻强记,而且不知疲倦,工作效率是人的几倍。最初机器人没有思维、感情和创造力,对人俯首贴耳。不过在富有感情的机器人问世后局面发生了变化。机器人替代工人上岗的结果造成许多工人失业,他们对机器人怀有敌意,愤然罢工抗议,继而销毁机器人,以至酿下祸根。机器人工会号召机器人奋起反抗,宣称“全世界的机器人为击败人类而团结起来!将所有的人,无论男女老幼一概消灭!”。“洛萨姆万能机器人公司”的机器人也行动起来



来,杀死了它们所有的人类上司。激烈的抗争过后,当机器人冷静下来的时候,它们幡然感悟到这样其实也是自掘坟墓,因为当初它们的设计寿命仅仅 20 年,并无法再生。随着时光的流逝,所有机器人会陆续报废。惊恐之余,它们幸亏发现了两台具有“生育”能力的新型实验机器人,令这两台机器人结合可以进化为人类,于是整个世界才又有了起死回生的转机。

由上述可知,查别克不但创造了机器人的名字,还赋予它拟人的形象。始料不及的是这一点造成了后人对机器人概念的误解。生性幽默、行动恐怖、动作迟钝,只知劳动却无思维的机器人形象屡屡出现在作家的笔端。普通青少年对机器人则充满梦和幻想,以为它们形如铁臂阿童木,是一批“超人”。与作家和民众认同机器人的拟人性相反,学者们更倾向于将机器人归结成代替人类劳作的一类自动机械,至于机器人具有何种形状和形象并不重要,既可以与人相似,也可以不同。科学家更为理智和抽象地来考察它们是否具有人的本质特征和作业功能。

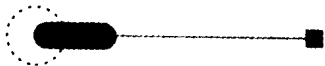
机器人应当具有这样几个特征:移动功能、执行机构、感觉和智能。

查别克的另一个贡献是将机器人与生产结合起来。受这一思想的启发,1954 年,美国的 G. C. Devod 申请了工业机器人专利。1958 年,美国 Consolidated 公司制作出世界第一台工业机器人,机器人算是有了真正的“肉身凡胎”。从那时起迄今,机器人一步步走向成熟,现代机器人已满 45 岁,步入不惑之年。1962 年,美国 AMF 公司的 Verstran、Unimation 公司的 Unimate 分别生产出第一台实用工业机器人。1968 年,日本川崎重工从 Unimation 公司购得 Unimate 的专利,生产出日本第一台工业机器人。现在,日本拥有的机器人数量约占世界总量的 60%,已经成为名副其实的“机器人王国”。

大约在 20 世纪 80 年代初期,我国第一台工业机器人问世。现在我国有 700 多家用户,3 500 余台(不计台湾的 6 000 余台)。2000 年底,国际机器人联合会统计世界工业机器人的总拥有量为 826 500 台。新世纪之初,与工业机器人深入产业各个领域的时候,服务机器人也正在逐步渗透到千家万户生活的各个角落。

回顾机器人成长的历史,工业机器人也好、服务机器人也罢,虽然它们形态各异,功能有别,但都是由人创造出来的,应该说是人创造孕育出机器人的生命,创造赋予机器人产业活力。

正是基于上述认识,机器人学术界和产业界都十分重视开发青少年的想像能力和实践能力。有关机器人的赛事是国际科学普及中最活跃的一个门类。这些赛事激发出青少年层出不穷的智慧的火花,培养了一代又一代机器人科技后备人才。





1.2 机器人赛事

机器人是一项非常适合科学普及和科技竞赛的主题。机器人赛事从20余年前就已经开始了。现在各类机器人赛事名目繁多,范围遍及世界。截止到2000年共有20余项公认的机器人赛事,举例如下:

1. 机器人足球世界杯比赛

国际上有关机器人足球的赛事主要有2个分支:日本主办的机器人足球世界杯比赛 RoboCup(Robot World Cup)和韩国主办的微机器人足球世界杯锦标赛 MiroSot(Micro-Robot World Cup Soccer Tournament)。两者在规则上略有差异。

在人工智能的发展史中,人和机器智能之间的博弈始终作为一个标准问题起到有力的推动作用。表1.1是从1958年以来45年间人—计算机大战史。1997年5月,IBM公司的超级计算机“更深的蓝”在国际象棋较量中以3:2战胜了著名的国际象棋冠军卡斯帕罗夫,成为40年来人工智能研究重大进展的标志性事件,同时也意味着博弈已经在某种程度上完成了它的历史使命,需要寻找新的标准问题、新的挑战来继续推动人工智能的发展。于是,学者们将目标锁定在机器人足球比赛。足球是世界第一运动,机器人踢足球顺理成章地成为人工智能研究的新的载体。同年,第1届 RoboCup 比赛在日本名古屋揭开帷幕,迈出机器人2050年在绿茵场上战胜人类足球队梦想的第一步。

表 1.1 人—计算机大战史

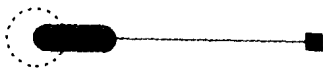
年 份	战况、战绩
1958	速度200步/秒的IBM704计算机被命名为“思考”,揭开人—计算机大战的序幕
1987	“深思”首次以75万步/秒的速度崭露头角,水平相当2450分级选手
1989	“深思”速度达到200万步/秒,与卡斯帕罗夫对阵,0:2败北
1993	“深思”第二代击败丹麦国家队以及女选手小波尔加
1995	“深蓝”速度达到300万步/秒
1996	“深蓝”与卡斯帕罗夫对阵,2:4败北
1997	“更深的蓝”速度达到2亿步/秒,4名国际大师加盟IBM技术小组,最终以3:2击败卡斯帕罗夫
1999	“更弗里茨”计算机问世
2001	“更弗里茨”更新程序,击败卡斯帕罗夫等10名世界级棋手
2002	“更弗里茨”速度达到600万步/秒,在巴林与世界棋王克拉姆尼克交手,4:4言和
2003年1、2月	“更少年者”速度达到200万步/秒,在纽约与卡斯帕罗夫较量,以3:3平分秋色



其实,这个构想由来已久。加拿大学者、British Columbia 大学的 Alan Mackworth 教授在他 1992 年的论文《On Seeing Robot》中第一次提出用机器人踢足球的构想。1992 年 10 月,在东京人工智能领域重大挑战研讨会上,经一些学者积极筹划,由 SO-NY 出资在瑞士注册成立了 RoboCup 联盟(The RoboCup Federation),其宗旨是通过国际社会的共同努力,利用真实机器人足球比赛、仿真比赛等手段加快机器人学及相关科学技术的发展。RoboCup 联盟下设科学委员会和国家委员会。前者又分设仿真器研究发展小组和机器人世界杯挑战委员会;后者负责协调各国之间的关系。最初的成员国有美国、法国、意大利、德国、荷兰、新加坡、日本等。顾问委员会成员有《人工智能 AI》杂志主编丹尼尔·布朗(Daniel Bobrow)、剑桥大学教授迈克尔·布莱迪(Michael Brady)、加拿大 British Columbia 大学的阿兰·马克沃斯(Alan Mackworth)、日本名古屋大学教授福田敏男、澳大利亚人工智能协会迈克尔·玻·乔夫(Michael P. Georgeff)、美国人工智能协会主席大卫·沃尔斯(David Waltz)等。1996 年 11 月 4—8 日,大阪国际智能机器人技术和系统会议期间同时举办了一次预备赛(Pre-RoboCup),8 支球队参加了比赛。第 1 届 RoboCup 的专题会议及正式比赛在 1997 年举行,包括美国、日本、欧洲的主要大学及研究机构的约 40 支机器人球队和 5 000 多名观众参加此次盛会。第 2 届 RoboCup 于 1998 年在巴黎举行,有 80 支球队参赛,以后形成每年一次的机器人比赛赛事,并形成追随各届世界杯足球同步、同地举办的格局。图 1.1 的一组照片是 2002 年第 6 届 RoboCup 的几个比赛场景。

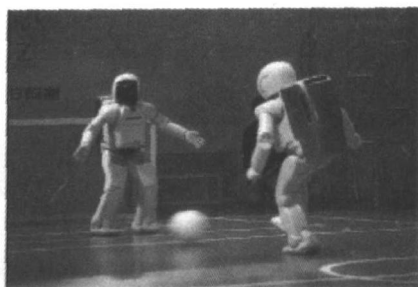
RoboCup 既是人工智能研究交流的平台,又是一个优秀的综合教育项目。RoboCup 既可以是多个高速运动(超过 1 m/s)机器人在动态环境下设计的任务,也可以是从软件角度进行的仿真比赛。2002 年 6 月 25 日,第 6 届 RoboCup 在日本福岡落下帷幕。此次机器人足球世界杯比赛规模空前,有来自 29 个国家的 188 支代表队报名。中国的 3 支代表队战绩卓著。在有 44 支队伍参加的仿真组较量中,清华大学代表队卫冕成功,北京理工大学代表队获亚军,中国科技大学代表队获第 5 名。在有 9 支代表队参加的有腿机器人四腿组的角逐中,中国科技大学代表队获第 5 名。在最近几年我国大学生抱着极大的兴趣陆续参加了一些 RoboCup 的活动。东北大学和哈尔滨工业大学是我国最早研究开发微型机器人足球的院校之一,也都有不错的战绩。

由于仿真环境与人类足球的真实场地相似,参赛队员的仿真造型与真实队员也相当逼真,所以 RoboCup 仿真组的比赛使观众有身临其境的感受。仿真比赛的条件要求不高,更便于在学校实施,因而成为最活跃的项目之一。表 1.2 将博弈与 RoboCup 进行了比较,显然后者在人工智能的研究方面更前进了一步,更富有挑战性。





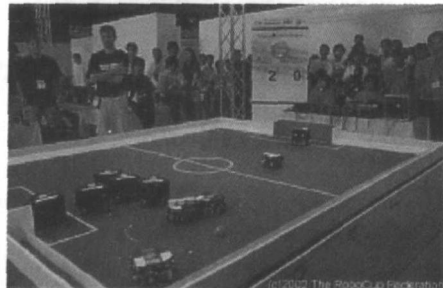
(a) f-2000中型组比赛



(b) 拟人型机器人ASIMO的表演



(c) 有腿(四足)机器人组比赛



(d) f-180小型组比赛



(e) 仿真组比赛

图 1.1 RoboCup-2002 的几个比赛场景