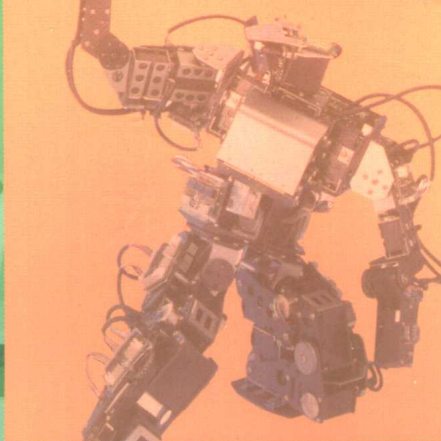
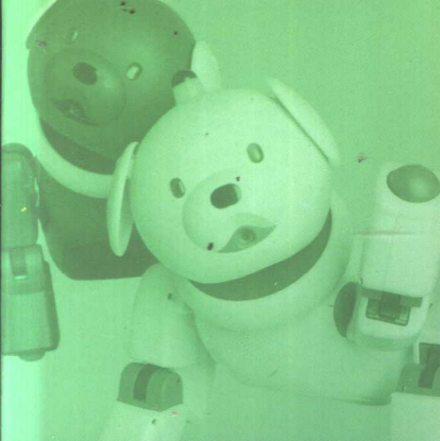


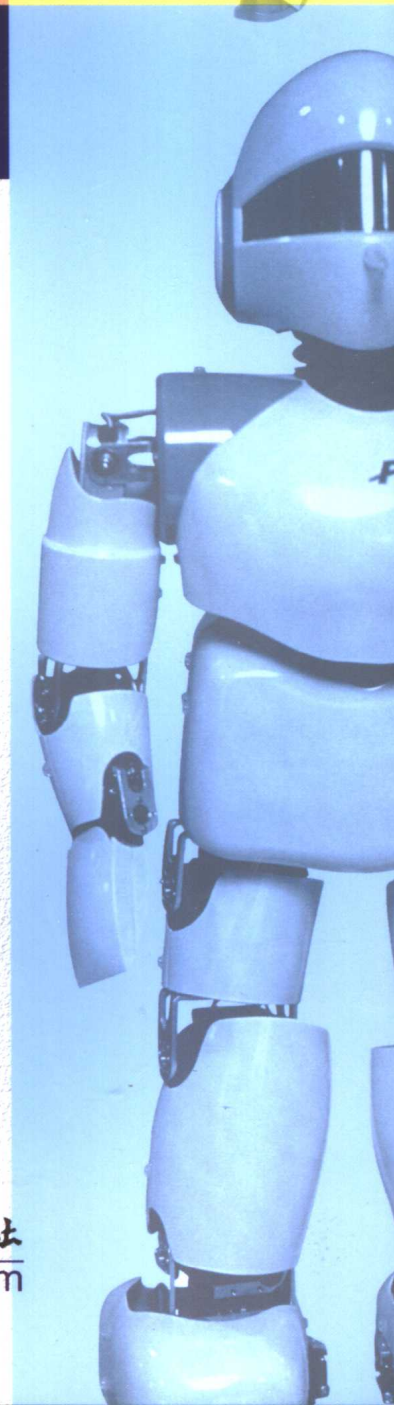


机器人创意与制作

小型机器人的 基础技术 与制作

NPO RoboCup日本委员会 主编
〔日〕 高桥友一 秋田纯一 渡边正人 著
宗光华 唐伯雁 高玉萍 译

 科学出版社
www.sciencep.com



小型机器人的基础技术与制作

NPO RoboCup 日本委员会 主编

〔目〕 高桥友一 秋田纯一 渡边正人 著

宗光华 唐伯雁 高玉萍 译



科学出版社

北京

图字:01-2003-8872 号

内 容 简 介

本书是机器人创意与制作系列之一。本书从 RoboCup 小型机器人组的概况及制作要领入手,主要介绍小型机器人组比赛中所采用的视觉处理技术,小型机器人的机械结构、重要零部件的制作方法,与小型机器人性能相关的若干关键技术等。本书注重实践,从启迪读者进行小型机器人制作出发,引导读者通过各种手段努力提高机器人性能,起到激发读者创造灵感、拓展知识面,增强实践动手解决问题能力的作用。

本书可作为大专院校理工科学生补充机械电子学、机器人工程、人工智能、计算机控制等领域知识的参考书,还可作为广大机电技术爱好者的课外读物。

图书在版编目(CIP)数据

小型机器人的基础技术与制作——挑战 RoboCup 小型机器人/NPO RoboCup 日本委员会主编;(日)高桥友一等著;宗光华等译. —北京:科学出版社,2004
(机器人创意与制作系列)

ISBN 7-03-013169-X

I. 小… II. ①N…②高…③宗… III. ①机器人技术 ②机器人-制造
IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 033031 号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:白 羽 / 封面设计:李 祥

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 5 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2004 年 5 月第一次印刷 印张: 10 1/4

印数: 1—5 000 字数: 171 000

定 价: 25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前不久,美国火星探测器“勇气”号和“机遇”号这对孪生兄弟在先后经历了半年多、数亿公里的星际旅行后终于成功地着陆在目的地。众所周知,真正踏上火星表面,作为首位地球使者漫步火星的巡游车,实际上是两个机器人。不过它们两个非同一般。一则,它们的长相简直“帅呆了”:6个独立悬挂的车轮,能在崎岖的火星表面坚实地前进;太阳能电池翻板的双翼和竖立的360°全景摄像机于望台,犹如一只展翅欲飞的鹤;而与人体上肢结构类似的机械臂,一旦到达目标附近就轻轻地舒展开去采集火星表层标本。另一则,它们堪称“目前世界上最聪明的机器人”和一座功能完美的移动实验室,总共携带了7类科学探测仪器,把星际探测器的自动化程度提高到前所未有的水平。

火星巡游机器人的闪亮登场掀起机器人爱好者的又一波热潮,特别是激发了一批青少年创意和制作机器人的兴趣与灵感。因此在这里,向读者推荐一套有关机器人创意与制作的参考书——“机器人创意与制作”系列。该系列共有4册,分别是:

(1) 《机器人控制电子学》

撰写本书的三位作者长期从事日本工业专科学校机械工程、电子技术和电气信息工程等课程的教学。此书是本套丛书中较为通俗的入门篇,以高中学生和低年级大学生为对象是本书的特色。本书以几种较简单的机器人为主线,重点介绍所涉及到的机器人控制电子学知识(如控制器、传感器、驱动器、电机控制等),内容相当简单扼要,而且注重基础和制作的实践。

(2) 《机器人设计与控制》

《机器人设计与控制》和《机器人控制器与程序设计》均原属于 McGraw-Hill 公司出版的《TAB Electronics Robot DNA Series》系列中的分册。撰写本书的两位作者丹尼斯·克拉克和迈克尔·欧文斯既是相关方面的行家里手,也是身处第一线的实践者。

本书重点讲解如何搭建一个简易的机器人系统的物理实体,即机构、传动、驱动与控制。

(3) 《机器人控制器与程序设计》

撰写本书的作者迈克·普瑞德科是机器人控制和程序设计方面的专家。在该书中作者以微芯公司的 PICmicro 系列微控制器为核心,相当详细和深入浅出地介绍了设计机器人控制器软件开发工具,软件编程和调试的基本过程,提供了有实用价值的接口程序和控制应用代码。

《机器人设计与控制》和《机器人控制器与程序设计》不涉及高深难懂的理论,也没有复杂的数学公式,但是基础门槛仍然稍高,需要具备一定的物理、计算机、电子学方面的基础知识,适合初步掌握了 C 语言编程技巧的读者阅读和实践,一般作为大学高年级,或研究生低年级学生的参考书。

(4) 《小型机器人的基础技术与制作》

本书作者高桥友一、秋田纯一、渡边正人从事电子与信息方面的教学工作,长期参与 RoboCup 小型机器人组的活动。相对来说《小型机器人的基础技术与制作》是本系列难度较高的一册,因为 RoboCup 小型机器人组比赛本身对抗性强,对性能指标的要求就较高,又有多机器人协调、全局视觉和无线电收发等技术关键。此外投资硬件平台的经费高。

目前机器人教科书都不大适合初学者。本系列基本上属于普及层次的读物,各分册程度略有差别,内容互为补充。它们所针对的是一批高中和大学的机器人爱好者。初学者学习机器人,最好的入门途径是从自己创意和制作简易机器人起步,有了实践的感受和体验,对日后学习理论的重要性会有更深刻的认识和更强的目的性。如果读者愿意自己尝试一下,那么不妨来根据自己的具体条件选择其中合适的一二册来读一读。

由于译者的水平所限,书中难免存在错误和缺点,恳请批评指正。

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

北京航空航天大学机器人研究所

译者的话

足球无疑是现代体育运动中最受欢迎的项目。同样,在机器人世界里,足球机器人也是学生们的宠儿。在种类繁多的机器人竞赛活动中,虽然足球机器人竞赛的起步稍晚,但发展速度之快却始料未及,足球机器人受欢迎程度由此可见一斑。

日本被誉为“机器人王国”,是 RoboCup 的最初的成员国之一,在足球机器人技术方面起步较早,她不仅在机器人技术方面具有优势,而且在项目的运营方面积累了丰富的经验。在日本,RoboCup 竞赛活动被因势利导,成为了机器人长远战略发展规划的一部分,同时也是新世纪人才培养的承载体。这种高瞻远瞩的谋略值得借鉴。

近年来,在我国大学,机器人作为机械电子学、计算机技术、人工智能等典型应用被广泛地选作工科本科生的讲授课程之一;在中学,模型机器人则逐渐成为素质教育、技能实践的选题之一,各种机器人比赛正方兴未艾。

本书介绍的小型机器人属于 RoboCup 的一个组别。麻雀虽小,五脏俱全,它涉及到机械、电子、传感器、计算机、图像处理等多学科领域,集成了机器人技术必要的基本知识。小型机器人成本低、入门容易、特别适合普及。本书的三位作者高桥友一、秋田纯一和渡边正人是这方面的行家里手,也是身处第一线的实践者。

全书的内容分为六章。

第 1 章简要介绍 RoboCup 小型机器人组的概况及制作要领。第 2 章概括地讲解小型机器人组比赛中所采用的视觉处理技术。第 3 章详细地说明小型机器人的机械结构、重要零部件的制作方法。第 4 章是本书的重点,详细讨论与小型机器人性能有关的若干关键技术,如图像处理技术、规划方法和通信手段等。第 5 章和第 6 章介绍了一些与 RoboCup 小型机器人组比赛有关的规则、场地、资料等方面的知识。

本书的一个特点是注重实践。“实践出真知”。本书从启迪读者进行小型机器人制作出发,引导读者通过各种手段努力提高机器人性能,起到激发读者创造灵感、拓展知识面,增强实践动手解决问题能力的作用。

本书的第二个特点是入门门槛较低。本书内容考虑了学生在 Robo-

Cup 小型机器人制作的过程中在知识和技能方面的接受程度。书中涉及的理论浅显易懂,没有复杂的数学公式,重点解答读者亲手制作机器人的过程中可能遇到的各种实际问题、讲述实践经验,传授有关机器人的基本原理和工程知识。书中引用了大量实例,比较适合我国大学本科生和高中生的知识结构和知识层次。书中的入门知识和具体实例都有利于激发读者的创造性思维,教会学生综合运用知识进行工程设计和实践,显然这是学生素质培养的重要内容。

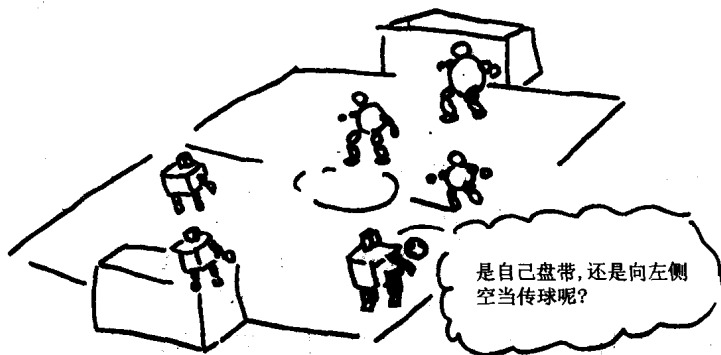
大多数对足球机器人抱有兴趣的学生在他们制作之前毕竟对机器人知之甚少,因此本书可作为大专院校理工科学生补充机械电子学、机器人工程、人工智能、计算机控制等领域知识的参考书,还可作为广大机电技术爱好者的课外读物。

本书的相关资料还提供了一些有用的信息,如机器人公司的网址,零件、硬件、材料供应商的地址,RoboCup 小型机器人竞赛优胜者的主页等等。

前 言

RoboCup 在机器人技术的发展中是一项具有里程碑意义的计划,其目标是 2050 年在绿茵场上让拟人型机器人球队与世界杯足球赛的冠军队对阵,按照国际足球联盟的正式规则比赛,最终战胜对手^[18]。能与之媲美的、具有划时代意义的计划可以举出阿波罗人类登月计划和人工智能领域的人/计算机国际象棋比赛计划。

设想一下 2050 年绿茵场上的足球机器人吧! 具有铁臂阿童木¹⁾般的、拟人形状的机器人在赛场上盘带、射门、防守、封堵是怎样一幅场景!



1997 年第 1 届 RoboCup 世界大会伊始时仅有三组机器人比赛: 中型机器人组、小型机器人组(为实物样机)和仿真组。从 1999 年开始, 扩大了以 SONY AIBO 为平台的四足机器人组, 2001 年机器人救援仿真组和实物样机组也被加入赛事, 2002 年在日本福岡大会上又增加了拟人型机器人组。

RoboCup 不仅是一项赛事, 而且带有研讨会的性质, 在国际上众多类型的机器人竞技比赛中只有少数赛事兼有研讨的特色。RoboCup 相关的各支队伍, 无论小型机器人组也罢, 全自主的中型机器人组也罢, 直至拟人型机器人组, 除了参加各自感兴趣的分组比赛活动之外, 还出席同时举办的研讨会, 在讲坛上发表自己的研究成果。

机器人研发与制作涉及诸多学科领域的技术。除了与机器人的机械

1) 是漫画家手塚治虫作品中的主人公, 漫画中阿童木于 2003 年 4 月 7 日诞生。

结构有关外,由于 RoboCup 以足球比赛为背景,因此又衍生出若干必要的功能,例如需要视觉用以观察足球及场地实况的变化;需要预测算法用以推定下一步的动作规划;需要通信和路径规划用以协调队员之间的行为等等。

换言之,RoboCup 包含了系统工程学中的诸多基本内容。目前小型机器人组的角逐已经成为大学课堂教学常用科目的选题,涉及乒乓球台大小的场地和多个移动机器人。例如美国康奈尔大学的研究生课程就讲解小型机器人的制作与设计,甚至包括项目管理方面的内容¹⁾。

本书可以作为职业高中、工业高等专科学校、工科大学本科讲授 RoboCup 小型组机器人设计与制作的教材,也可以作为参加日本公开赛事的各个参赛队的基本技能培养教程。基于上述考虑,本书有以下特点:

- 需要装备一个全局视觉小型机器人组所需的硬件平台,其经费预算约 50 万日元,包含计算机、摄像机、5 台机器人等。

- 该平台提供了机器人制作、视觉系统、通信等的基本硬件配置。

- 无需外协机械加工即可完成一套可实用的实验用机器人组。

- 既给出 RoboCup 比赛时所需的实用技能,又指明毕业论文或相关深入研究的可选课题。

最后,作者向审阅书稿并给予注释的 RoboCup 国际委员会组织委员会主席北野宏明,大阪大学升谷保博先生、日本科学未来馆中川友纪子、近畿大学五十岚治一先生、大阪工业大学大里延康先生、成蹊大学小方博之先生等与小型机器人组赛事有关的各位,以及参与机器人制作和编程的学生致谢。

本书中的示例程序和附录所援引的资料可以从 RoboCup 委员会的网站主页(<http://www.robocup.or.jp>)、以及共立出版(株)的应用页中下载。在使用程序时遵从 GPL(The GNU General Public License)²⁾。机器人则由市场出售的机器人套件购入组装而成。至于机器人的安全和使用注意事项,以及各自机器人的故障问题,请读者责任自负。

高桥友一 秋田纯一 渡边正人

1) Robot Soccer 请参见 A Platform for Systems Engineering. Computers in Education Journal, 10(1):57-61, 2000. <http://robocup.mae.cornell.edu/> 点击「Instructor: Prof. Raffaello D'Andrea」, 点击「Publication」。

2) <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.ja.html>。

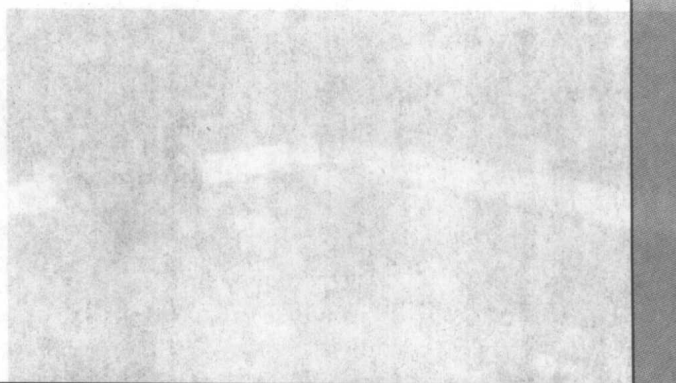
第 1 章 RoboCup 小型机器人组	1
1.1 小型机器人组简介	2
1.2 小型机器人组的制作要领	4
1.2.1 观测运动场	4
1.2.2 踢静止的球	5
1.2.3 踢运动的球	6
第 2 章 机器人的视觉信息处理技术	7
2.1 RoboCup 的图像处理	8
2.2 图像处理基础	10
2.2.1 计算机的图像处理	10
2.2.2 颜色信息的处理	12
2.2.3 颜色提取处理	15
2.2.4 标号处理	16
2.2.5 重心	17
2.3 图像处理系统 ccam	18
2.3.1 系统构成	18
2.3.2 Video for Linux Two	20
2.3.3 图像处理库 CMVision	20
2.3.4 图像处理系统 ccam	21
2.3.5 ccam 的安装	22
2.3.6 机器人的标记和个体识别	23
2.3.7 颜色参数的指定方法	25
2.3.8 坐标信息的传输	27
2.3.9 ccam 动作的确认	28
2.3.10 无线电发送子程序 ssend	29
2.3.11 UDP 通信程序设计	30
2.3.12 客户机程序设计	32

第3章 机器人的制作	35
3.1 机器人的构成	36
3.1.1 驱动方式	36
3.1.2 踢球机构	37
3.1.3 盘球机构	38
3.1.4 电机及其控制方法	38
3.1.5 电 源	44
3.1.6 无线电收发装置	46
3.1.7 微控制器	46
3.2 RoboCup 机器人的制作	47
3.2.1 AKI-H8 微控制器主板的制作	50
3.2.2 AKI-H8 微控制器专用主板的制作	51
3.2.3 9V 电源的制作(通信端口用电源)	55
3.2.4 通信测试	58
3.2.5 步进电机电源斩波电路的制作	61
3.2.6 PIC 步进电机驱动器的制作	64
3.2.7 机器人车身的制作	68
3.2.8 ccam 对应机器人程序	77
第4章 提高性能的关键技术	81
4.1 挑战的课题	82
4.1.1 挑战1——避障(Navigation Challenge)	82
4.1.2 挑战2——踢球(Kicking Challenge)	82
4.1.3 挑战3——互传(Alternate Passing Challenge)	83
4.2 摄像机的类型	84
4.2.1 摄像机的模型和透视变换	84
4.2.2 摄像机的标定	85
4.3 机器人的构成	87
4.3.1 控制系统	87
4.3.2 规 划	88
4.4 实例研究	89
4.4.1 轨迹生成	89
4.4.2 轨迹生成器	90
4.4.3 机器人变换公式	91

4.5 轨迹生成方法	94
4.6 位置预测	95
4.6.1 时间序列数据	95
4.6.2 简单预测	96
4.6.3 卡尔曼滤波预测	96
4.7 通信	99
4.7.1 命令格式	99
4.7.2 通信手段	100
4.8 借助视觉提高机器人的性能	102
4.8.1 全局视觉和局部视觉	102
4.8.2 局部视觉系统	103
4.8.3 图像信号和帧频率	104
4.8.4 高速摄像机和并行处理系统	105
4.8.5 高速图像处理芯片	106
 第5章 相关事项	 109
5.1 会场	110
5.2 教材	110
5.3 展望与对策	113
 第6章 相关资料	 115
6.1 规则概述	116
6.2 Video for Linux2 的安装	120
6.3 H8 的相关资料	123
6.3.1 H8 的开发环境	123
6.3.2 软件开发	126
6.3.3 步进电机电源斩波及 9V 电源印刷电路板	137
6.3.4 有关 RS232 的资料——STRa	137
6.3.5 通信数据格式	138
6.3.6 LCD 资料	140
6.3.7 元器件清单	141
6.3.8 必备的工具及资料	142
 参考文献	 145
索引	147

第1章

RoboCup 小型机器人组



RoboCup 是一项划时代的计划,其目标是让拟人型机器人队和世界杯足球赛的冠军队在绿茵场上对阵,按照国际足联的规则进行比赛,并最终战胜对方。

从网址 <http://www.robocup.org/02.html> 了解到有关 RoboCup 的解释是:

机器人足球队在实际的足球比赛中采用自主设计的思想,实现多个机器人协调动作,实时制定战略,追求机械电子技术的完美结合……另外,还必须实现多学科领域知识与技术的综合。

小型机器人组的特点是制作简便,易于普及。它是制作拟人型机器人的重要技术基础。本章是后续内容的准备知识,因此首先需要对小型机器人组的比赛及机器人制作的要点做一个概括的介绍。

1.1 小型机器人组简介

(1) 场地 小型机器人组使用乒乓球台大小的运动场地。小型机器人联赛以对阵小组双方(每组最多 5 台)将高尔夫球踢入对方球门的个数来评定输赢。图 1.1 是 1999 年斯德哥尔摩大会的运动场地。图 1.2 是 2002 年福冈大会的运动场地。通过比较这两幅图可以看出两次大会所使用的运动场地在侧壁的倾斜度及场地表面的材质等方面是有所不同的。1999 年的运动场地在乒乓球台的表面上铺

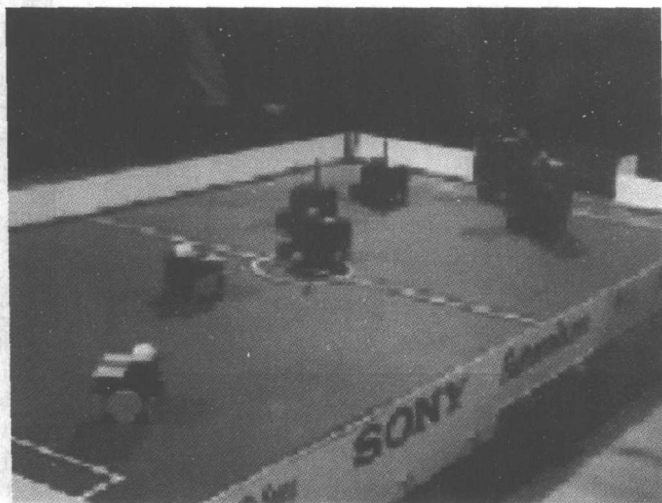
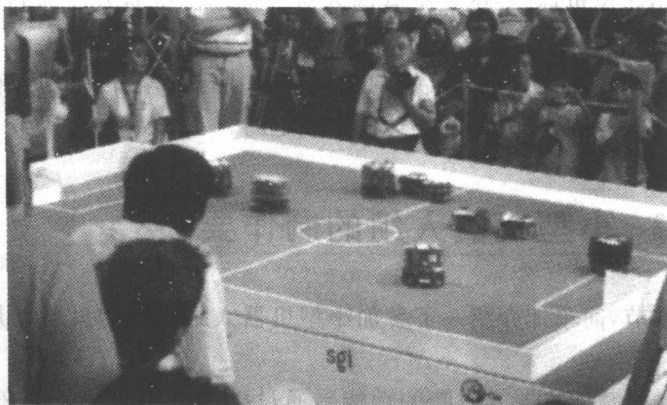


图 1.1 1999 年斯德哥尔摩大会的运动场地

设了地毯。从2000年起将直立的壁面改为倾斜的壁面。2001年把运动场地从乒乓球台大小变成更大的尺寸。可以想见,随着机器人动作灵活性的不断提高,运动场地的条件也会随之改变。

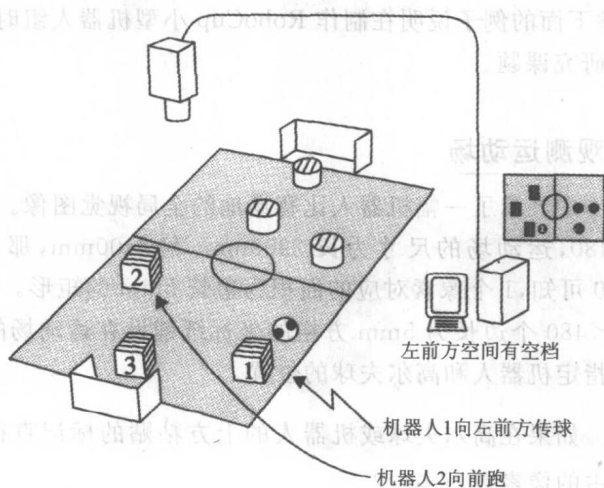
图 1.2 2002 年
福岡大会的运动
场地



(2) 机器人 小型足球机器人由3个部分构成,即观测周围环境的传感器部分、思维部分、运动机构部分。在小型机器人组比赛中,根据参赛机器人的构造可以分为两种类型,一种是把上述三部分集成于一个独立的机器人个体;另一种是采取上述三部分分离的形式。前一类型的机器人在功能部件方面与中型组机器人相仿,只是集成度更高、体积更小。由于它们的机载视觉传感器的视野仅仅局限于观测机器人自身周围的一小片环境,故称之为局部视觉系统。

后一类型的机器人将摄像机安装在运动场的上方,由于其视野扩展到整个运动场地,故称之为全局视觉系统(参见图1.3)。

图 1.3 采用全局
视觉系统的机器
人组配置形式



在图 1.3 中,摄像机代表传感器,场地一侧放置的计算机代表思维部分,在运动场地上的方块(称之为机器人,下同)代表运动部分。

(3) **比赛过程** 裁判发出比赛开始的命令之后,操纵员起动机器人。然后机器人开始跑位抢球,并试图把其踢入对方球门。机器人靠球和机器人上的颜色和标记进行识别。

强烈地冲撞对方机器人被视为一种犯规行为,应该被罚以任意球或黄牌警告等等,这些都是参考人类的踢球规则规定的。

1.2 小型机器人组的制作要领

在本节,简单地介绍一下参加小型机器人组比赛的机器人足球队在制作时的要领。

(1) **眼睛** 机器人眼睛的功能是通过摄像机和图像处理来实现的。因此,高的分辨率和图像处理的速度就成了关键技术。在第 2 章将对摄像机和图像处理的基本问题进行讲解,另外还将安排篇幅对图像处理单元和通信单元所组成的系统进行介绍。

(2) **足** 在这一部分,需要选择驱动的方式和电机,当然还有其他很多需要研究的内容,如控制方式等等。本书的第 3 章将讲解机器人制作的步骤,以及简易机器人设计制作的其他相关事宜。

(3) **作战和通信** 在图 1.3 中,当制定了“左前方空间有空挡”的战术之后,就需要通过无线通信向机器人下达“前进”的命令。本书第 4 章将介绍为了产生一系列动作,机器人所必须完成的相关行为。

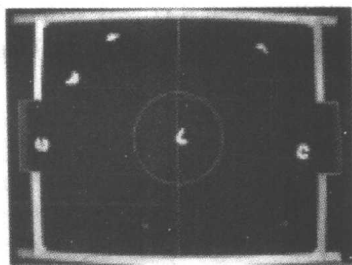
首先,举下面的例子说明在制作 RoboCup 小型机器人组时必须面对和考虑的若干有趣的研究课题。

1.2.1 观测运动场

在图 1.4 中展示了一幅机器人比赛场地的全局视觉图像。如果摄像机的分辨率为 640×480 ,运动场的尺寸为长 2900mm、宽 2400mm,那么由 $2900\text{mm}/640$ 、 $2400\text{mm}/480$ 可知,1 个像素对应的面积为边长 5mm 的矩形。因为 $2900/5=580$,所以用 580×480 个边长为 5mm 方格的坐标纸铺设在运动场的表面上,就能在这个坐标系下指定机器人和高尔夫球的位置。

问题 1.1 如果在高尔夫球或机器人的上方粘贴的标记直径为 4cm,那么在坐标纸上它所占的像素数为多少?

图 1.4 全局视觉系统观测的运动场地

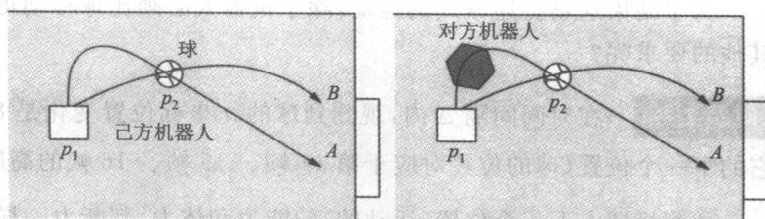


1.2.2 踢静止的球

可以在机器人上安装踢球的装置。其实设计踢球机构是一个很有创意的题目。但本书中的机器人未设计踢球机构,让机器人向前推球同样可以起到踢球的作用。

下面来考察位于图 1.5 所示位置的球和机器人,机器人沿 A、B 中的哪一条路径运动才能把球踢进球门呢?

图 1.5 路径规划和冲撞回避



通过分析,如果选择路径 B,球最终会被踢出场外。决定到达目的地位置的移动路径 (x_i, y_i) ($i = t, t+\Delta, \dots$) 的过程被称为路径规划(path planning)。在这里, (x_i, y_i) 是在时刻 i 坐标纸上对应的坐标点。从 t 开始,间隔为 Δ ,即 $t, t+\Delta, \dots$ 意义在于指定机器人的位置。而实际上 Δ 是由视觉系统的周期,以及通信周期决定的。

问题 1.2 自己设定机器人、球和球门的位置,为了把球踢进球门,请思考踢球前机器人的动作。

再参考图 1.5 的右图。这次在路径 A 上有对方机器人。面对这种情况,机器人必须躲开对方,这叫做冲撞回避(collision avoidance)。

此外还需要考虑机器人的运动机构。例如可以在机器人的两侧各安装一个车轮,而且各车轮采取独立电机驱动。这样的结构使机器人从图 1.6 中所示的 p_1 位置向上或向右运动均很方便。如果向上运动,则机器人可以进入路径 A。另一方面,如果向右运动,则机器人可以朝向车轴连线的方向移动,或者机器人还可以先原地旋转 90° ,然后再选择其他路径。