

自主移动机器人 设计与制作

张国良 敬 斌 著
刘延飞 敬 熊 磊



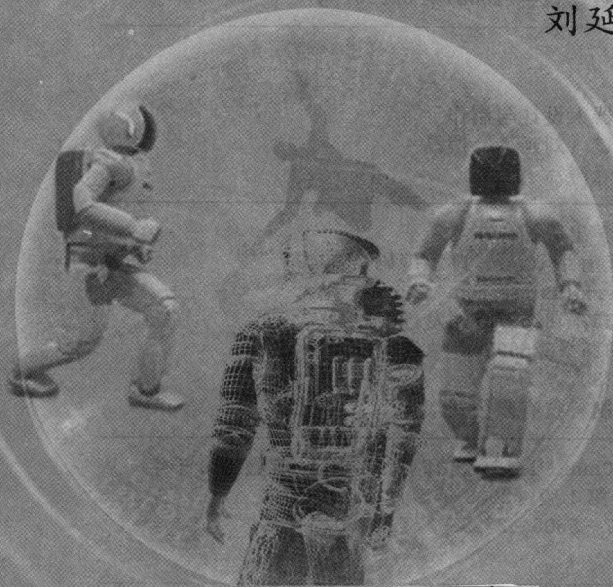
西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

TP242/74

2008

自主移动机器人 设计与制作

张国良 敬斌 著
刘延飞 熊磊



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书系统而细致地介绍了自主移动机器人的基本理念、功能结构、硬件结构,重点描述了各分系统功能及其实现的具体方法,是一本机器人设计与制作的入门类书籍。本书在内容上注重工程实践与基本技术,目的是希望读者学习本书后,对于机器人技术有初步和较全面的了解,并可以借助本书,完成一台自主移动机器人的设计与制作。本书适合作为大学本科学机器人课程的教材,也可作为大学本科生与研究生机器人技术研究的参考书,同时也适合实践条件较好且有一定基础的高中生使用。

图书在版编目(CIP)数据

自主移动机器人设计与制作/张国良等著. —西安:西安交通大学出版社,2008.5

ISBN 978-7-5605-2725-3

I. 自… II. 张… III. 移动式机器人—基本知识 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 022561 号

书 名 自主移动机器人设计与制作
著 者 张国良 敬斌 刘延飞 熊磊
责任编辑 屈晓燕 贺峰涛

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西江源印刷科技有限公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 11.5 字数 210 千字
版次印次 2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-2725-3/TP·507
定 价 18.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy31@126.com

版权所有 侵权必究

前 言

人类的一切技术活动都围绕着一个目的而展开：将人类从现有的各种事务中解脱出来，去开辟新的领域。

当人类将足迹逐步迈向地球之外时，人类一个久远的梦想也在逐步变为现实：用人类制造的一个新的“人类”——机器人来代替人类所有的活动。尽管这个梦想同时令许多人感到担心，但人类依然在将这个梦想一步步推向现实。

2007年，世界最大的电脑企业之一的总裁比尔·盖茨花了半年的时间撰写了一篇不足4000字的文章，展望机器人技术的未来。文中预言：到2030年，每一个家庭将会拥有一台机器人，就如同今天每个家庭都拥有一台计算机一样。

依据目前的技术现状和科技发展的速度，我们完全有理由相信这个到目前为止还令人神往的预言。事实上，尽管要制造出科幻电影里那些高智能的机器人还有很远的路要走，但到目前为止，人类已经生产出很多出色的机器人，我们现在就可以买到。甚至有人推出了“2007年最值得拥有的10款超级家用机器人”的清单，其领域包括人类娱乐、教育、体育、卫生等日常生活的各个方面。可以想见在20年以后，诸如此类的机器人可能在超市就可以购买。

尽管机器人技术已经逐步开始渗透到人类生活的各个层面，但是机器人技术的研究及其应用还处于蓬勃发展的预备期。比尔·盖茨指出：“我们站在时代的节点：一个崭新的产业即将崛起。若干开创性的新技术为这个产业的崛起奠定了基础；几家口碑颇佳的企业提供了极为专业的商品；一大批新公司迅速壮大，致力于制造新式玩具、为发烧友提供配件，还出售其他各种有趣的产品。然而，它也是一个高度分散、各自为政的行业，几乎没有统一的标准或平台。这个行业的开发项目复杂、进展缓慢，可投入实际应用的成果寥若晨星。”

现今，机器人行业面临的挑战与30年前电脑行业遇到的问题如出一辙：机器人制造公司没有统一的操作系统软件，流行的应用程序很难在五花八门的装置上运行。机器人硬件的标准化工作也未开始，在一台机器人上使用的编程代码，几乎不可能在另一台机器上发挥作用。如果想开发新的机器人，通常得从零开始。

正因为如此，从我国的机器人研究现状而言，在当前的时机，大力投入机器人技术研究适逢其时。目前国内外的研究水平相差并不是太大，我们有众多现有的技术与理论体系可以借鉴、参考，但没有一个技术垄断的企业或者国家，也暂时（但

仅仅是暂时)还没有人可以强制制定某种标准。大力研究、发展机器人技术,争取在群雄逐鹿的时代率先占领制高点,成为世界机器人技术的领先者,不仅是各个大学、也是我们国家必须进行的工作。

近年来,国家自然科学基金、国家 863 计划都将机器人技术列为重点支持项目,随着中央电视台、中国自动化学会、中国人工智能学会每年一度的机器人大赛及其宣传与推动,在全国各个大学、中学乃至小学中,都掀起了机器人研究的热潮。

在历次全国机器人大赛中,一些学校采用自行研制的机器人,得到了人们的广泛关注与称赞,而更多学校的参赛机器人则是买来的。在比赛场外,许多应用与研究单位的机器人大多来自国外机器人公司甚至是玩具公司。从我国科学技术的发展历程来看,与其他所有技术学科一样,机器人研究有必要走“广泛了解、瞄准前沿、自行设计、自行制作”的技术路线。只有坚持这一技术路线,才能为机器人研究工作打下牢固的基础,同时自行研制的机器人也成为下一阶段研究工作的好平台。在自行设计与制作机器人的过程中,可以积累丰富的经验与技术,对底层技术有完全的把握,在研究上层策略时能做到心中有数。有了这个基础,机器人研究才可以根据自身的研究状态,拓展机器人的类型及其工程应用。而依靠购买的机器人开展研究工作,将需要花费更长的时间、更多的精力与经费才能达到这样的效果,最终还不能掌握核心技术。在参加的历次机器人大赛中以及在教学科研中,本书作者明显地感受到,事实上绝大部分购买机器人的学校与单位也有同样的认知,人们并不是不想自己设计与制作机器人,只是对如何跨出自行设计与制作机器人的第一步不甚清楚。

鉴于这样的原因,本书作者综合自行设计与制作机器人的实践以及在教学科研中的积累,撰写了本书。本书系统而详细地描述了机器人的基本理念、功能结构、硬件结构、各分系统功能及其实现的具体方法,内容上注重工程实践与基本技术,写法上具有针对性。本书适合作为大学本科学生机器人课程的教材,也可作为大学本科生与研究生机器人技术研究的参考书,同时也适合实践条件较好且有一定基础的高中生使用。希望本书的出版可以使读者对机器人技术有初步而全面的把握,容易地完成一台自主移动机器人的设计与制作,并对国家机器人技术的进步与普及起到些微的推动作用。

本书由张国良统稿,第 1、4 章由张国良撰写,第 2 章由熊磊撰写,第 3 章由敬斌撰写,第 5 章由刘延飞撰写,第 6、7、8 章由四位作者共同撰写。同时,李忠义、宋海涛、黄伟伟、刘毅男、李奕芄等也为本书作出了重要工作。

最后,作者要衷心感谢西安交通大学出版社与责任编辑,是他们的热情支持与辛勤工作,使得本书得以顺利出版。

著者

目 录

第1章 破解机器人	(1)
1.1 到赛场看看机器人长什么样	(2)
1.1.1 RoboCup 中型组机器人	(2)
1.1.2 RoboCup 小型组机器人与 FIRA 微机器人	(4)
1.1.3 人形机器人及其舵机	(6)
1.1.4 其他机器人	(9)
1.2 把机器人大卸八块	(10)
1.2.1 先说说 SHAKEY 机器人	(10)
1.2.2 机器人的功能结构	(11)
1.2.3 机器人的硬件结构	(14)
1.3 机器人并不神秘	(17)
第2章 先得有个身体——机器人总体与机械设计	(19)
2.1 机器人机械结构总体设计	(20)
2.1.1 机器人总体设计方案	(20)
2.1.2 机器人机械系统的模块化设计	(21)
2.2 先用轮子当足吧!	(23)
2.2.1 机器人的行走系统	(23)
2.2.2 全向轮介绍	(23)
2.2.3 行走机构的布置方式	(26)
2.2.4 两轮机器人	(27)
2.2.5 三轮机器人	(28)
2.2.6 四轮机器人	(29)
2.3 其实手和足是一样的	(29)
2.3.1 带球机构	(30)
2.3.2 弹射机构	(31)
2.3.3 机械臂	(35)
第3章 指挥部——机器人的大脑	(39)
3.1 计算机——机器人的大脑	(39)

3.1.1	机器人的“神经通路”——计算机接口	(39)
3.1.2	计算机的输入信息	(40)
3.1.3	实现机器人“智能”——计算机程序	(42)
3.1.4	计算机的输出	(43)
3.2	图像处理程序	(43)
3.2.1	图像采集模块	(44)
3.2.2	图像分割	(46)
3.2.3	目标识别	(52)
3.3	决策和控制程序	(53)
3.3.1	决策程序	(53)
3.3.2	UDP 通信程序	(56)
3.3.3	运动控制程序	(58)
3.3.4	RS-232 串口通信程序	(58)
第4章	我在哪儿？周围有什么？——机器人的传感器	(62)
4.1	是“看见”不是看见	(62)
4.2	机器人常用的传感器	(62)
4.2.1	摄像头	(63)
4.2.2	超声波传感器	(64)
4.2.3	红外传感器	(70)
4.2.4	微机械陀螺仪	(71)
4.2.5	微机械加速度计	(82)
4.2.6	GPS 定位	(84)
4.3	还有许多传感器呢	(87)
4.4	传感器的性能指标	(89)
4.5	传感器信号的转换	(92)
第5章	移形换位——机器人的运动控制	(95)
5.1	先搞清楚“我要干什么”	(95)
5.2	让指挥信号从“头”达到“足”——运动控制系统方案	(95)
5.3	驱动电路设计	(96)
5.3.1	直流电机是如何旋转的？	(96)
5.3.2	驱动电路该完成什么功能？	(97)
5.3.3	驱动电路设计原则	(99)
5.3.4	功能模块 1——H 桥驱动	(100)
5.3.5	功能模块 2——电路控制	(101)

5.3.6	功能模块 3——过流保护	(102)
5.3.7	驱动电路器件选择	(103)
5.4	控制电路设计	(107)
5.4.1	控制电路总体设计	(107)
5.4.2	功能模块 1——鉴相模块	(108)
5.4.3	功能模块 2——测速模块	(111)
5.4.4	控制电路器件选择	(113)
5.5	控制程序设计	(114)
5.5.1	软件设计的基本要求	(114)
5.5.2	编程语言的选择	(115)
5.5.3	PID 控制算法	(115)
5.5.4	系统测试程序设计	(119)
第6章	伙伴们,联合起来——多智能体机器人	(124)
6.1	智能体与多智能体	(124)
6.1.1	智能体(agent)	(124)
6.1.2	多智能体系统(MAS)	(128)
6.1.3	MAS 与机器人	(128)
6.2	多智能体的通信	(128)
6.2.1	无线局域网内的机器人通信	(130)
6.2.2	利用无线电通信模块的机器人通信	(132)
6.3	多智能体决策	(139)
6.3.1	集中式控制模式的决策	(140)
6.3.2	分布式控制模式的决策	(142)
第7章	一个完整的自主移动机器人示例	(147)
7.1	机械系统的装配	(147)
7.1.1	轮系的装配	(147)
7.1.2	下层本体的安装	(149)
7.1.3	上层本体的安装	(151)
7.1.4	机器人的本体	(153)
7.2	电路部分装配	(154)
7.2.1	控制板	(154)
7.2.2	CPLD 执行板	(155)
7.2.3	驱动板	(156)
7.2.4	电路底板	(157)

7.2.5 电路整体安装	(158)
7.3 系统软件的构成	(158)
7.3.1 场外教练程序	(158)
7.3.2 图像处理程序	(159)
7.3.3 决策控制程序	(160)
第8章 你需要准备的工具	(162)
8.1 Visual C++ 编程语言	(162)
8.2 AutoCAD 软件	(164)
8.3 Protel 软件	(168)
8.4 Multisim 软件	(171)
8.5 Keil C51 软件	(173)
主要参考文献	(176)

第1章 破解机器人

2007年10月,全国机器人足球大赛在山东济南举行,机器人是怎么踢足球的?足球机器人又长什么样呢?

2006年,中国“嫦娥工程”启动,中国的技术人员开始研制月球机器人,机器人又是什么样呢?它是如何工作的?

2005年,美国的“勇气号”与“机遇号”机器人登上了火星,向地球报告了火星上的各种资料,它们与其他机器人有什么不同吗?

提前说一声:机器人并不神秘。可是,要严格地讲清楚什么是机器人,又并不容易。在我们熟悉的家用电器中,空调的全称是空气调节装置,电视机的全称是电视信号接收机,对这些名称还有严格的解释。但从第一台机器人诞生直到现在,机器人一直没有严格的定义,主要的原因是机器人一直在不断地发展,具有新外形、新功能的机器人不断地出现;另外一个原因是,人们在哲学上有困惑,因为机器人涉及到了什么是“人”这样一个问题。因此,目前还没有一种机器人的定义能够得到普遍的认可。

在日本,人们对机器人的定义比较宽泛,认为机器人就是任何高级的自动机械,这样一来生产流水线上的自动机械都可以划入机器人的范畴。不过这种定义没有得到广泛的认可。欧美国家认为,机器人应该是由计算机控制的、通过编排程序具有可以变更的多功能的自动机械。联合国标准化组织采纳的是美国机器人协会给机器人下的定义,即机器人是一种可编程和多功能的,用来搬运材料、零件、工具的操作机;或是为了执行不同的任务而具有可改变和可编程动作的专门系统。但是在对机器人的概念上,现在国际上逐渐趋近一致,一般说来,人们可以接受的说法是,机器人是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。本书作者也认同最后这种提法。

其实在每一个读者心中都有一个关于机器人的定义。这不要紧,就像机器人一词最早诞生于科幻小说之中一样,人们对机器人总是充满了自己的幻想。也许正是由于机器人定义的模糊,才给了人们充分的想象和创造空间。不过,有一点还是应当说明的,就是机器人的外形可能是各种各样的。看看微软总裁比尔·盖茨在2007年3月发表的“机器人时代即将到来”预言,也许我们会有更深刻的体会。他说:“未来也许会有不少机器人看起来酷似《星球大战》中的人形金属怪物,但绝大多数机器人的外貌肯定将与C-3PO(《星球大战》中那个多愁善感的人形机器人)

迥然不同。实际上,随着移动式外设的日益普及,我们可能越来越说不清到底什么才是机器人。这些机器人的功能高度专业化,深入千家万户,但外貌却跟科幻作品中那些两足拟人机器人大相径庭,说不定我们不会再把它们叫做机器人。不过,名字并不重要,重要的是,随着这些装置的价格逐渐降低,达到普通消费者能够承受的水平,它们极有可能使人类社会生活的方方面面——包括工作、交流、学习及娱乐等,发生翻天覆地的变化,影响之深远丝毫不逊于过去 30 年间个人电脑给我们带来的改变。”

那么,我们暂时不管到底什么是机器人,先到赛场上看看机器人长什么样再说!

1.1 到赛场看看机器人长什么样

2007 年 10 月,全国机器人大赛在山东济南举行。这一次大赛有很多个比赛项目,我们挑选其中几个典型的机器人看看。

1.1.1 RoboCup 中型组机器人

RoboCup 是英文 The Robot World Cup 的缩写,即机器人世界杯足球锦标赛。1992 年,Alan Mackworth 在论文《On Seeing Robots》中首次提出了进行足球机器人比赛的设想,为促进分布式人工智能研究与教育的发展提供一个标准任务,使得研究人员在该平台中研究各种相关技术,从而有效促进各相关研究领域的发展。经过众多学者的积极倡导,RoboCup 联合会应运而生并提出其奋斗目标:到 2050 年,一个由自主的机器人组成的足球队,按照国际足联的规则将与当时的世界杯冠军队进行足球比赛,并且赢得胜利。现在 RoboCup 联合会是世界上最大的机器人足球国际组织,负责世界范围的学术活动和竞赛,包括每年一届的世界杯赛和学术研讨会,并为相关的本科生和研究生教育提供支持。RoboCup 比赛分仿真组、小型组、中型组、SONY 四腿组等。其中最能综合全面地反映机器人技术的就是 RoboCup 中型组比赛。

RoboCup 中型组的比赛是在绿色地毯上进行的,比赛场地如图 1.1.1 所示。目前,国际比赛要求比赛场地为 12×16 米,对灯光、球门、球场四周都有特定的要求。随着各参赛队技术水平的提高,RoboCup 的比赛会逐步向自然比赛场地过度,例如在天然阳光下、球门采用人类比赛的球门、场地不设置边界,等等。

RoboCup 中型组机器人有很多种外形,图 1.1.2 是两所大学自己设计制作的足球机器人,其中左图为四轮足球机器人,右图为两轮足球机器人。这种机器人最大的特点是,它们是全自主的。也就是说,在开始比赛以后,这些机器人不需要场外的干预与指挥,就能够自己寻找足球、分辨对方和己方的球门,自己作出行为决策,并驱动自己完成动作。根据设计水平的不同,有的机器人还能够识别对方和己



图 1.1.1 RoboCup 中型组比赛场地

方的球员,在比赛中根据自己的位置与比赛状况,改变自己的角色。一句话,除了与人的外形不一样,它们进行的足球比赛与人类的足球比赛几乎是完全一样的。

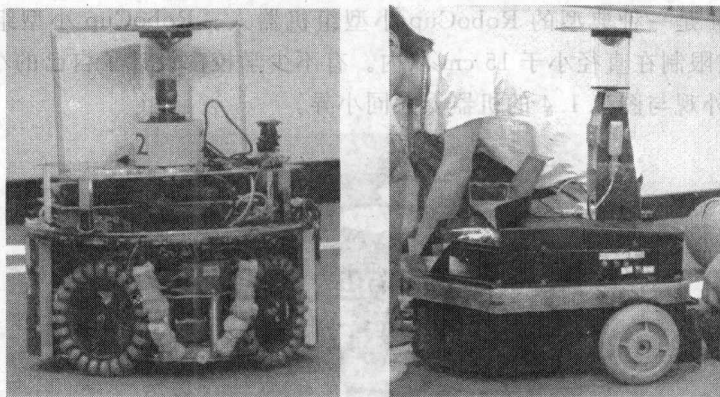


图 1.1.2 两种典型的足球机器人

图 1.1.2 的两种机器人都是各学校自己研制的。此外,也还有一些学校是购买的机器人公司出品的比赛用机器人。本书的目的是让读者可以自己设计、制作自己的自主移动机器人,所以就不再介绍由公司出品的机器人了。要知道,在赛场上,大家最重视的机器人都是各个学校自己做的,它们可一点也不比公司出品的机器人差。在这里,注意它们有什么共同的特点吗?我们继续向下看。

1.1.2 RoboCup 小型组机器人与 FIRA 微机器人

RoboCup 小型组的比赛与 RoboCup 中型组比赛很不一样,场地要小很多,如图 1.1.3 所示。

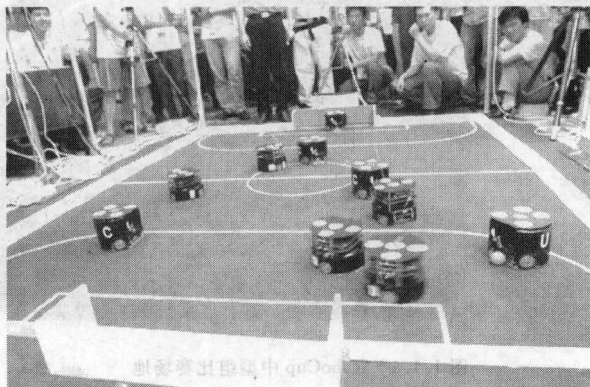


图 1.1.3 RoboCup 小型组比赛场地

这样一来,RoboCup 小型组机器人的外形与中型组机器人的外形也就不同了,图 1.1.4 是一种典型的 RoboCup 小型组机器人。RoboCup 小型组机器人的外观尺寸被限制在直径小于 15 cm 以内。有不少学校都设计了自己的小型组机器人,它们的外观与图 1.1.4 的机器人大同小异。

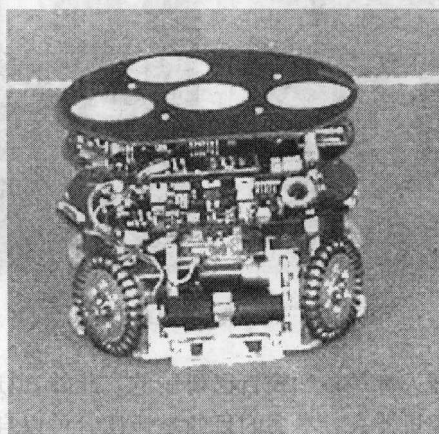
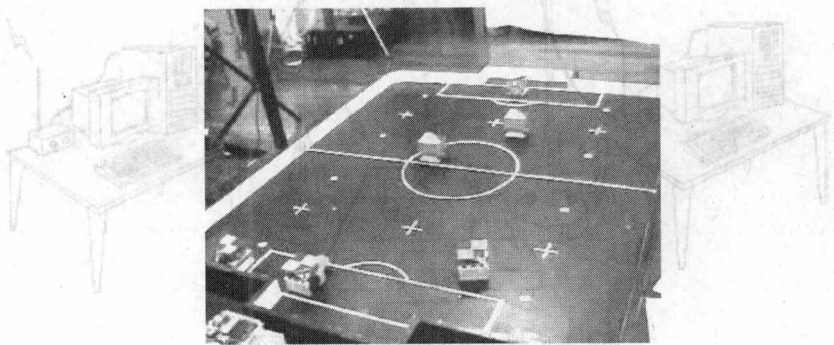


图 1.1.4 RoboCup 小型组机器人

在国内与国外的比赛中,还有一种 FIRA 微机器人足球比赛,FIRA 是国际机器人足球联合会的缩写。根据场上机器人的数目不同,FIRA 微机器人足球比赛

场地的大小也不同,但这些微机器人的尺寸都被限制在 $7.5\text{ cm} \times 7.5\text{ cm} \times 7.5\text{ cm}$ 以内。图 1.1.5 为 FIRA 微机器人足球比赛场地与足球机器人。



FIRA 比赛场地

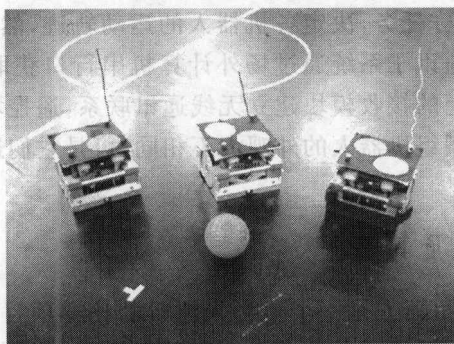


图 1.1.5 FIRA 足球机器人

RoboCup 小型组机器人与 FIRA 微机器人比赛与 RoboCup 中型组足球比赛最大的不同是,它们不是自主的,它们没有感知系统与决策系统,在比赛中它们是根据通信系统接收到场外计算机发出的指令来完成动作的。图 1.1.6 是 RoboCup 小型组机器人与 FIRA 微机器人的比赛场地及机器人系统结构示意。

RoboCup 小型组机器人与 FIRA 微机器人系统中,机器人小车由车架、车轮、电机、减速机、测速码盘、驱动电源、单片机控制电路与无线接收模块等构成。它可以按着场外计算机发出的命令调整车轮转速,以保证按预定的轨迹运动。视觉子系统是机器人的眼睛。它由悬挂在球场中圈上空摄像头摄取图像,由装在场外计算机内的图像采集卡将图像数字化,送入计算机内存,再由软件对图像进行理解。由于双方各有不同颜色的队标,而机器人也有不同的队员色标。这样计算机就可以通过颜色分割辨识出全部机器人与球的坐标位置与朝向。也就是进行模式识

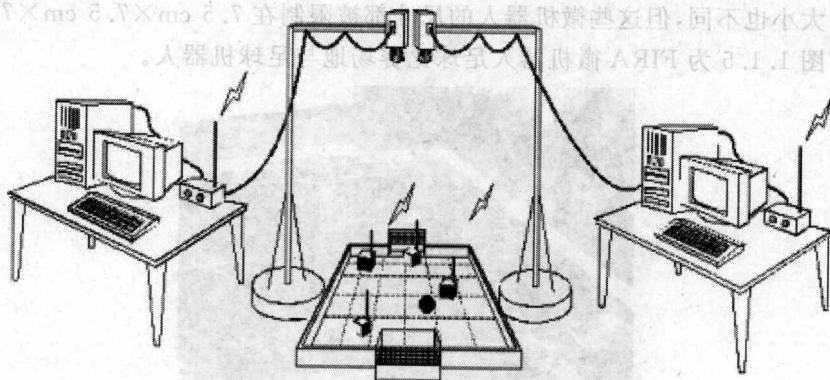


图 1.1.6 非自主式足球机器人比赛示意图

别。装在场外计算机中的决策子系统根据视觉系统给出的数据,判断场上攻守态势,分配本方机器人攻守任务,决定各机器人的运动轨迹,然后形成给各小车各轮轮速的命令值。无线通讯子系统通过场外计算机串行口获取命令值,再由独立的发射装置与装在小车上的接收模块建立无线通讯联系,遥控场上各机器人的运动。

这些机器人与中型组机器人的外观大不相同,可是它们还是有很多共同点的,你看出来了吗?

1.1.3 人形机器人及其舵机

在比赛场上,人形机器人是一个很引人注目的比赛项目。人形机器人又称两足步行机器人。两足步行机器人是模拟人类用两条腿走路的机器人。两足步行机器人适于在凸凹不平或有障碍的地面行走作业,比一般移动机器人灵活性强,机动性好,但控制难度更大。

两足走行的行走方式有静态步行、准动态步行和动态步行三种。静态步行是指两足步行机器人靠地面反作用力和摩擦力来支撑,绕此合力作用点力矩为零的点称为零力矩点。在行走过程中,始终保持零力矩点在脚的支撑面或支撑区域内。准动态步行是把维持机器人的行走分为单脚支撑期和双脚支撑期,在单脚支撑期采用静态步行控制方式,将双脚支撑期视为倒立摆,控制重心由后脚支撑面滑到前脚支撑面。动态步行是一种类人型的行走方式。在行走过程中,将整个躯体视为多连杆倒立摆,控制其姿态稳定性,并巧妙利用重力、蹬脚和摆动推动重心前移,实现两足步行。动态步行涉及机构控制和能源等难题,目前仍处于研究阶段。

人形机器最重要的特点就是长相“类人”,这与我们所期望或者所熟悉的机器人的外形很相近。人形机器人比赛有时也分很多种项目。一种是人形机器人舞蹈,如图 1.1.7 所示。这些机器人在比赛中,能够“随着”音乐翩翩起舞。对“随着”

两个字加上引号的原因,是事实上这种人形机器人的舞蹈动作跟场上播放的音乐并没有关系,它们的动作序列都是事先设计好的。

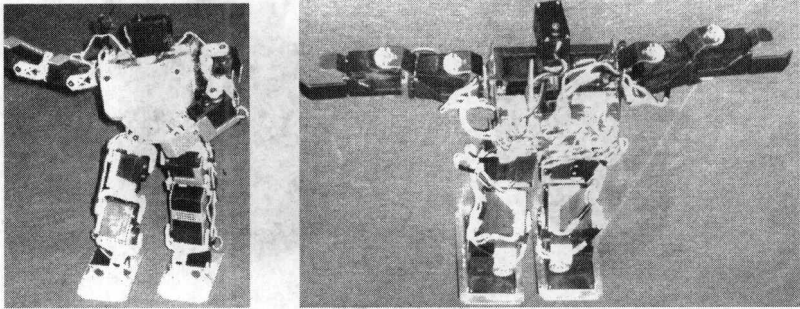


图 1.1.7 两种人形机器人

但类人型足球机器人就不同了。如图 1.1.8 所示。它们在头部安装有摄像头,身体上的计算机系统功能更强大,能够完成图像处理并作出决策,驱动机器人自身完成靠近足球并踢球的动作,或根据足球运动的方向完成阻挡足球的动作。显然,将图 1.1.7 所示的舞蹈机器人进一步提高为类人型足球机器人是一件比较容易的工作。

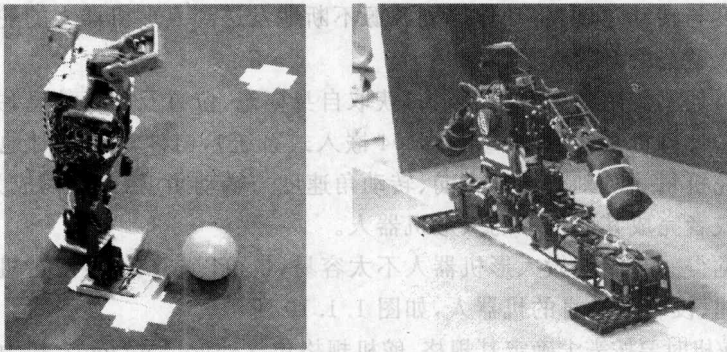


图 1.1.8 类人型足球比赛机器人

其实,要制作图 1.1.7 和图 1.1.8 的人形机器人并不是一件太难的事。这些人形机器人最关键的结构是它的关节,这些关节大都由舵机构成,如图 1.1.9 所示。

舵机是一套带反馈的电机组件,它主要是由外壳、电路板、无核心马达、齿轮与位置检测器所构成。其工作原理是控制信号由接收机的通道进入信号调制芯片,获得直流偏置电压。它内部有一个基准电路,产生周期为 20 ms,宽度为 1.5 ms 的基准信号,将获得的直流偏置电压与电位器的电压比较后获得电压差输出。最



图 1.1.9 舵机

后,电压差的正负输出到电机驱动芯片决定电机的正、反转。当电机转速一定时,通过级联减速齿轮带动电位器旋转,使得电压差为零,电机停止转动。

舵机最重要的特点,就是可以按需要设定其转动方向、转动角速度与转动角度。因此,只要选购好足够数量的舵机,自己设计并制作好机械连接部件,加上控制电路,就可以做自己的人形机器人了。

按自己的动作设计制定出动作序列,每一次动作中包括各个舵机的转动方向、转动角速度与转动角度,将动作序列源源不断地发送到人形机器人的舵机组件中,人形机器人就会翩翩起舞了。

如果再加上传感器(例如摄像头)获取自身姿态、位置及环境信息,并采用具有较强功能的计算机系统(如 DSP、PC104 嵌入式系统),由计算机实时地发出指令,决定各个舵机每一时刻的转动方向、转动角速度与转动角度,就可以成为类人型足球机器人或者完成其他任务的人形机器人。

如果觉得一开始就做人形机器人不太容易,也可以先试试做两足机器人,就是只有两条腿、没有上半身的机器人,如图 1.1.10 所示。

购买舵机时要按需求确定其规格,舵机规格包含外形尺寸(mm)、扭力($\text{kg} \cdot \text{cm}$)、速度($\text{s}/60^\circ$)、测试电压(V)及重量(g)等基本要素。扭力的单位是 $\text{kg} \cdot \text{cm}$,意思是在摆臂长度 1 cm 处,能吊起几公斤重的物体,这就是力臂的观念。因此摆臂长度愈长,则扭力愈小。速度的单位是 $\text{s}/60^\circ$,意思是舵机转动 60° 所需要的时间。电压会直接影响舵机的性能,例如 Futaba S-9001 在 4.8 V 时扭力为 3.9 kg、速度为 0.22 $\text{s}/60^\circ$,在 6.0 V 时扭力为 5.2 kg、速度为 0.18 $\text{s}/60^\circ$ 。速度快、扭力大的舵机,除了价格贵,还会伴随着高耗电的特点。因此使用高级的舵机时,务必搭配高品质、高容量的镍镉电池。只有提供稳定且充裕的电流,才能发挥舵机应有的性能。

由于本书主要目的是介绍自主移动机器人的制作,因此对人形机器人不作展