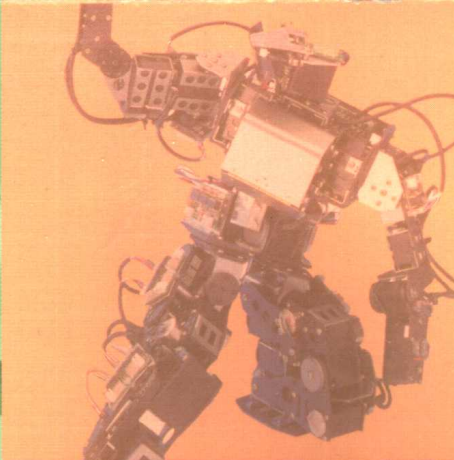
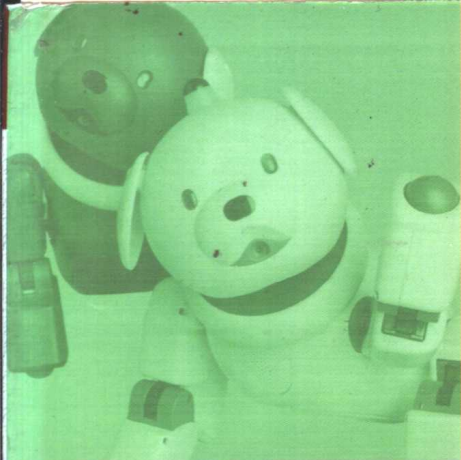




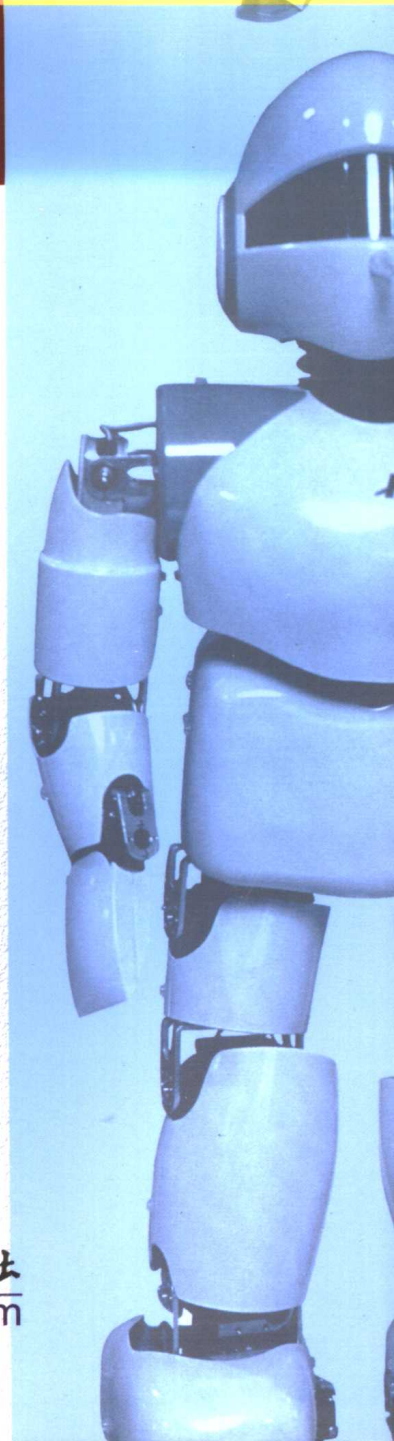
机器人创意与制作

机器人 设计与控制

〔美〕 丹尼斯·克拉克 著
迈克尔·欧文斯
宗光华 张慧慧 译



科学出版社
www.sciencep.com



机器人创意与制作

机器人设计与控制

〔美〕 丹尼斯·克拉克 著
迈克尔·欧文斯 著
宗光华 张慧慧 译



科学出版社

北京

图字: 01-2003-8238 号

内 容 简 介

本书是机器人创意与制作系列之一。本书重点介绍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。主要内容有机器人移动的基础知识,移动机器人用的电机类型、性能、传动构成、使用方法、驱动与控制电路,电机安装的简单方法,电机的开环和闭环控制的基本知识、系统构成、反馈元件简易制作、PID 控制方法等。本书涉及的理论并不十分高深,也没有复杂的数学公式,重点在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。

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、生产过程自动化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

机器人设计与控制/(美)丹尼斯·克拉克,迈克尔·欧文斯著;
宗光华,张慧慧译. —北京:科学出版社,2004

(机器人创意与制作)

ISBN 7-03-012843-5

I. 机… II. ①丹…②迈…③宗…④张… III. ①机器人-设计
②机器人-制造 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 006359 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: 23 1/4

印数: 1—5 000 字数: 401 000

定 价: 40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

中译本序

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°全景摄像机了望台,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,最好的人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

“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,在我国大学,机器人作为机械电子学、计算机技术、人工智能等的典型载体被广泛地用来作为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。

McGraw-Hill 公司出版的《TAB Electronics Robot DNA Series》系列,正是看到了机器人技术对青少年科学普及的积极作用以及对未来社会和产业潜在的巨大影响。《机器人设计与控制》是该系列的一个分册。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,又是身处第一线的实践者。

全书的内容分为十一章。

第1章是有关机器人移动的基础知识。第2章概括地介绍移动机器人用的电机类型,如直流电机、舵机和步进电机等。第3章、第4章、第5章分别以直流电机、舵机及步进电机为对象,重点从应用的角度讲述它们的性能、传动链构成、使用方法、驱动与控制电路,但避免过多地追究原理。第6章谈及电机安装的简单方法。第7章、第8章分别涉及电机的开环和闭环控制的基本知识、系统构成、反馈元件简易制作、以及PID控制方法。第9章介绍有关电机与微控制器等的电气接口的知识。第10章针对移动机器人常用的车轮和履带两种形式,讲述结构形式、材料、选用原则等。第11章则是步行机器人的入门。

由上可知,本书重点讲解如何搭建一个简易的机器人系统,或者说机器人模型的物理实体,即机构、传动、驱动与控制。

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机器人模型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。

本书的第二个特点是深入浅出。本书的内容充分考虑到学生在投身

机器人模型制作的过程中在知识和技能方面的接受程度。书中涉及的理论并不十分高深难懂,也没有复杂的数学公式,重点在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。

大多数对机器人模型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、生产过程自动化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。

本书的附录还提供了很多有用的信息,如机器人公司的网址,电机、零件、硬件、材料供应商的地址,经典机器人专著等等。

译者的研究生和学生王岳、祝明、覃善兴、易宏宇、徐亮等参与了本书的部分翻译和案头工作,在此一并表示感谢。

前 言

1. 让你的机器人动起来

不论是全球性的网络会议还是区域性的俱乐部集会,只要机器人爱好者们坐到一起,就总会重复一个老生常谈的话题:什么样的“机器人”才能算作真正的机器人?可以肯定地说,一旦提起这个话题,接下来它必将成为讨论的热点,许多前所未有的观点被逐一阐述,使人们耳目一新。所以机器人的定义向来是爱好者们永恒的话题。问题的答案往往各不相同,例如机器人必须与其所处的外部环境相互作用,它必须装备某种类型的计算机,或者还需要一些传感器等等。另外,《机器人大战》中的机器人到底是真正的机器人,还是更应该称之为遥控装甲车?再就是,什么是 BEAM¹⁾? 每个人都有各自的观点,想来读者也不例外。即便允许每个人保留自己的观点,为了避免无谓的争辩,大家仍应该达成一点共识:如果它不能动,那它就不是机器人²⁾。你也许能够完全按比例仿造一个 R2-D2 机器人,就像好莱坞的设计工作室创作的那样。但是,假如你无法使之动起来,那你的杰作就比一尊雕像好不到哪儿去。不过,只要你再加上一个微控制器和几个传感器,这个“雕像”就完全不一样了,它具有了计算机部分,有了活动的能力。尽管大家不会简单地认为所有能动的东西都是机器人,但仍然会保留这样的观点:任何一个机器人都至少应该具有运动的能力。

如果读者还想购买本系列的其他分册,作者诚恳地建议你不必这样做,倒不如用节省下来的钱再买上六、七册本书的备份。因为在阅读这本书的过程中你也许会随手乱扔而遗弃它,或者不小心将一杯汽水洒在上面,更严重地甚至被某人抖落的烟灰付之一炬,结果导致你无法继续学习下去。总之我想为了避免以上意外你应该接受我们的建议!看到这里,你会说:考虑这么多也太多余了,头脑发热!——确实如此!作者只不过是开了一个小小的玩笑,其实只想说明学习机器人技术需要“多余”的付出,而且还必须有那么一点儿冲动。

1) BEAM 机器人一般不使用微控制器,仅能运动而已。

2) 严格地说,所谓的软机器人或智能体(agent)不具备运动的能力,因此软机器人不应归属于机器人,尽管这会产生一些异议。

本书将详细讲述机器人运动问题的重要部分——移动,也就是机器人从此处行进到彼处的能力。本书将主要讲述如何借助车轮、履带和机械足使机器人移动。驱动这些装置的各类标准电机将是关注的重点,将分别介绍直流电机、步进电机、改进型和未改进的伺服电机等。除此之外的一些动能形式如水力、风力、磁场力以及空气动力等等,由于超出了本书的探讨范围所以不予涉及。本书只关心机器人的移动问题,至于其他有关机器人的运动内容——如机械臂、手爪等等也不会出现在本书出现。作者希望看到,有心的读者能设法把在本书中学到的一些关于机器人制作的思路、技巧和窍门应用到生活的其他方面。

2. 准备工作

我们相信本书读者手边已经准备了一些常用的手工工具,并且掌握它们的使用方法。如果还未能来得及,请按下列工具单准备:

- 螺丝刀
- 钳子
- 一套锉刀
- 钢锯
- 夹具
- 台钳
- 手锤

对于本书提及的一些生僻字眼,作者将尽量说得形象明了。

另外还需要以下几种必备的常用电动工具:

- 手电钻,当然能有一台钻床就更好了。一个适用的手电钻只需几百元即可从商店里购得,建议买个二手的,这不需要很多钱。
- 带有不同刀片的钢丝电锯。
- 环切器,用来加工电路板,当然还有其他用途。

如果读者有机会使用另外一些更高级的专门工具,像车床、铣床、剪床、辊压机、弯板机等,可想而知,这将对工作带来很大方便,但这并非是必需的。

在本书所讲述的制作过程中需要的原材料都是很常见的,在一些物品比较齐全的百货商店或是专营商店里都可以买到。如果读者所在的地方买不到这些原材料也不用担心,本书末尾的附录中提供了几个邮购的方式。不要告诉我你连信都无法寄出,那样的话你也就不必买这本书了。

在一些情况下,部分需要的器件可能在你当地的商店里买不到。例如期待着能在百货商店的柜台上找到 TI754410(电机驱动芯片)或者 IR-

FZ44(场效应晶体管)是不现实的,但是它们可以简单地在网上订购。本书尽量选用那些被广泛使用的器件以方便购买,而且它们一般比较便宜,做这样的安排,读者对原材料和器件的采购总可以松一口气了吧!

3. 必备知识

在此我们乐意假设本书的读者掌握了规范和熟练地使用上节所提到的各种工具的技能。仍需要提醒的是要牢记佩带防护镜和手套对于安全的重要作用。作者不希望读者在制作机器人的过程中失去手指、脚趾等受到任何人身伤害。

我们希望读者已经懂得如何使用电烙铁,因为本书里经常要求读者自己动手焊一些无法买到的电路板。从另外的角度来讲,自己动手制作既要比买现成的器件省不少钱,又更有乐趣,不是吗?更进一步地,读者应该理解欧姆定律并掌握使用万用表测量电阻值的方法。我想读者还要知道什么是 V_{cc} 和接地,懂得在你制作的系统中所有的地线都应该被连接在一起等等。

4. 小结

在制作机器人的过程中,有三个因素始终是必须关注的,而且它们之间相互联系,不应该把它们彼此孤立起来考虑,即机器人所处的环境、机器人需要执行的任务和机器人所配备的传感器。如果只改变其中一个因素而维持其他两个不变,那么机器人肯定运行不善,或者干脆就无法运行。所以,如果一个机器人不是专门为某一项特定的工作,或者按照某一个特定的环境设计的,那么它将永远只能羁留于你的工作台上。其实,想让机器人成功地制作出来,并不需要你在规划和设计时多么绞尽脑汁,只须考虑到上述三个因素就足够了。本书的目的就是试图帮助读者能够制作出一个在所设定的环境中成功运行的机器人,帮你圆制作机器人的梦想。

学习本书并不要求很强的能力,只需要一点用心、一点恒心和一点耐心就足够了。你或许没有接受过专门的机械加工的训练,但在这里,你积极地去尝试、去学习,甚至偶尔犯一些小错误都是一种收获,当然,最重要的是其中的无穷乐趣。

丹尼斯·克拉克

迈克尔·欧文斯

第 2 章 电机的类型 21

2.4.1 步进电机的工作原理	34
2.4.2 识别步进电机的类型	35
2.4.3 步进电机的性能指标和分类	35
2.4.4 购买与使用步进电机	37
2.5 机器人功率的计算	37
2.5.1 轮式机器人功率的计算	37
2.5.2 步行机器人功率的计算	40
2.6 地形和碎石的影响	42

第3章 直流电机

3.1 电机类型的选择	46
3.2 速度与转矩——齿轮对电机的影响	47
3.2.1 齿轮的基础知识	48
3.2.2 大减速比方案	49
3.2.3 齿轮的术语	50
3.2.4 齿轮的类型	51
3.2.5 齿轮减速电机与减速器	54
3.2.6 齿侧间隙	57
3.2.7 选用旧减速器	58
3.2.8 驱动轮的直径与传动装置	59
3.2.9 齿轮传动的效率	60
3.3 电机轴	61
3.3.1 电机轴载荷类型	61
3.3.2 联轴器	64
3.3.3 转轴的标准与非标准连接	69
3.4 其他问题——寿命、噪声与制动	78
3.4.1 延长电机的寿命	78
3.4.2 制 动	80
3.4.3 抑制噪声	81
3.5 选购电机	82
3.5.1 直流电机的技术资料	82
3.5.2 测量电机的电流及转矩	87
3.5.3 其他因素	90

第 4 章 舵 机	93
4.1 选择适用的舵机	94
4.1.1 将舵机改装成连续旋转	94
4.1.2 需要的工具	94
4.1.3 改装 Futaba F3003 标准舵机	95
4.1.4 改装 Hitec® HS303 标准舵机	101
4.1.5 改装 Hitec HS225MG 强力迷你舵机	104
4.2 确定和增加舵机的输出力矩	108
4.3 确定舵机的速度	109
4.4 舵机的强度	109
4.5 舵机的控制	110
4.5.1 硬 件	110
4.5.2 改装 Futaba S3003 为速度控制舵机	112
4.6 其他舵机控制器	115
4.6.1 Parallax Stamp II 控制 Scott Edwards MiniSSC® 舵机控制器	115
4.6.2 Parallax Stamp II SX4.6.1® 控制 Ferrettronics FT639® 控制芯片	116
4.6.3 BASCOM/AVR® 通过 Atmel® 90S2313 微控制器控制 TTT SSC 芯片	117
4.7 舵机的其他用途	117
 第 5 章 步进电机	 119
5.1 本章不涉及的内容	120
5.2 步进电机的选择	120
5.2.1 动态力矩和其他参数	121
5.2.2 步进电机的输出力矩能驱动机器人吗?	123
5.3 步进电机的类型和接线	124
5.3.1 单极性步进电机	124
5.3.2 单极性步进电机的步进方式	129
5.3.3 双极性步进电机	130
5.3.4 双极性步进电机的步进方式	131
5.3.5 步进驱动方式的相似之处	132
5.3.6 通用步进电机	132

5.3.7 有关步进电机极性配置的结语	135
5.4 如何获得步进电机	135
5.5 步进电机的控制和驱动电路	137
5.5.1 分立式单极性步进电机控制和驱动电路	137
5.5.2 分立式双极性步进电机控制和驱动电路	137
5.5.3 步进电机控制/驱动电路的测试时钟	137
5.5.4 单片机步进电机驱动器	142
5.5.5 基于微控制器的特殊步进电机控制器	143
5.6 常用步进电机接线列表	145
第 6 章 安装电机	147
6.1 平衡、对称、同轴排列	148
6.1.1 平 衡	148
6.1.2 对 称	149
6.1.3 同 轴	150
6.2 电机固定支架	150
6.2.1 金属安装支架	151
6.2.2 木制安装架	157
6.2.3 其他固定件——U 形螺栓和软管卡箍	158
6.2.4 快速固定	159
6.3 无支架电机安装方式	160
6.3.1 双面泡沫防滑胶带	161
6.3.2 用钩和绳临时固定	161
第 7 章 电机控制基础	163
7.1 若干约定	164
7.2 直流 H 桥集成功放电路驱动原理	164
7.3 反向电动势和续流二极管	165
7.4 简单小电流 H 桥集成功放电路的设计	167
7.5 小电流 H 桥集成功放电路的改进设计	168
7.6 H 桥集成功放电路芯片	170
7.6.1 754410、L293B 和 L293D 双通道直流电机 驱动芯片	170
7.6.2 L298 双通道直流电机驱动芯片	171

7.6.3	LMD18200 单通道直流电机驱动芯片	172
7.6.4	UCN2998 双通道直流电机驱动芯片	172
7.6.5	UCN3951 直流电机驱动芯片	174
7.7	大电流直流电机驱动器	175
7.7.1	大电流 H 桥集成功放电路直流电机驱动器 产品	175
7.7.2	自制大电流直流电机驱动器	177
7.8	导线的规格	180
7.9	脉宽调制(PWM)技术及其应用	180
7.9.1	方向-幅值 PWM	181
7.9.2	锁相环 PWM	182
7.9.3	PWM 信号的最佳频率	183
7.9.4	缓冲网络及其使用	183
7.10	步进电机驱动芯片	184
7.10.1	ULN2003 和 UNL2004(单极性步进电机 驱动芯片)	184
7.10.2	UDN2540 和 UDN2544(单极性步进电机 驱动芯片)	185
7.10.3	L298(双极性步进电机驱动芯片)	186
7.11	电流反馈和过电流保护	186
7.11.1	最简单的方案——舌簧管开关	187
7.11.2	电流感应传感器	188
7.11.3	关断电阻	190
第 8 章	电机的闭环反馈控制	193
8.1	编码器和里程计	196
8.2	增量式轴编码器的制作	196
8.2.1	简易反射式光学编码器	197
8.2.2	传感器位置的固定	209
8.2.3	提高分辨率——码盘与电枢轴连接	209
8.2.4	旋转方向识别	212
8.2.5	光栅式编码器	217
8.2.6	基于霍尔效应的编码器	222
8.2.7	非驱动轮编码器	226

8.3 轴编码器和模拟转速计	230
8.3.1 市售轴编码器	231
8.3.2 模拟转速计	233
8.4 电机的反馈控制算法	234
8.4.1 PID 控制算法简介	234
8.5 绝对式编码器	242
第 9 章 微控制器的电气接口	245
9.1 电 源	246
9.1.1 双电池供电方式	246
9.1.2 单电池供电方式	247
9.1.3 电源总线的噪声处理	248
9.2 器件连接	249
9.2.1 选择导线	249
9.2.2 连接方式	250
9.3 微控制器、计算机的输入/输出接口	253
9.3.1 缓冲接口	254
9.3.2 隔离接口	255
9.3.3 串行接口	256
9.4 缓冲器和串行接口实例——步进信号和 PWM 信号的产生	257
9.4.1 OOPic PWM 信号接口实例	257
9.4.2 Stamp II 和 TTL PWM 控制器与 754410 的接口实例	259
第 10 章 车轮和履带	261
10.1 车轮直径、转矩及速度	262
10.2 车轮和履带的选择	263
10.2.1 车轮重量与类型的关系	263
10.2.2 地形条件与车轮(履带)材料	264
10.3 车轮的种类及选购	267
10.3.1 无线遥控(RC)车轮	267
10.3.2 LEGO® 车轮	268
10.3.3 玩具飞机轮胎	269

10.3.4	全方位车轮	269
10.3.5	各种特殊车轮	270
10.4	履带的种类和选购	271
10.4.1	玩具或模型履带	271
10.4.2	LEGO 坦克履带	271
10.4.3	V 型履带和滑轮履带	272
10.5	轴的安装	273
10.5.1	往舵机上安装车轮和轮毂	273
10.5.2	往电机轴上安装轮毂和联轴器	274
10.5.3	浮动传动轴	280
10.5.4	浮动轴的安装	281
10.5.5	浮动轴的驱动	283
10.6	样 机	287
第 11 章	多足步行机器人	289
11.1	双足及多足机器人	290
11.1.1	静平衡与动平衡	290
11.1.2	舵机轴的支承和受力	291
11.2	简单传动机构	292
11.2.1	遥控玩具车的球铰连杆	292
11.2.2	Z 形连杆	293
11.2.3	遥控航模飞机 U 形连杆	294
11.2.4	连接点的选择	295
11.3	常用连接设备	296
11.3.1	钢 丝	296
11.3.2	链连接	299
11.4	多个舵机的安装	300
11.4.1	腿的基本结构	301
11.4.2	昆虫腿的布局	304
11.4.3	哺乳动物腿的布局	304
11.4.4	两足机器人	305
11.5	步 态	307
11.5.1	两腿移动	307
11.5.2	哺乳类四足动物	308