

图解电子创新制作

智能



电子制作

DIY

〔加〕 Myke Predko 著
王 巍 崔维娜 译

123 实验

图解电子创新制作

智能电子制作

〔加〕 Myke Predko 著

王 巍 崔维娜 译

科学出版社

北 京

图字: 01-2006-5214 号

内 容 简 介

本书是“图解电子创新制作”丛书之一。全书共 17 章,内容主要包括:机器人的基本概念及机构特点、电工学基础理论、电磁装置、机器人驱动链、半导体器件、555 芯片、光电子学、音频电子学、布尔逻辑运算基础、电源电路及时序逻辑电路、PBASIC 程序设计语言、移动机器人的制作、机器人的导航方法等。书中对读者在实验过程中可能遇到的问题作详细的论述,并提供调试电路、解决问题的办法,给出一些相关的源程序,同时将作者自己积累的经验及时告诉读者。这对许多初次涉足机器人实验的新手而言是非常有用的。

本书集理论与应用于一体,循序渐进、叙述简明,并配有大量的电路图、实物图及程序供读者参考以掌握书中的知识。

本书可供智能电子产品的研发技术人员及机器人制作爱好者参考阅读,也可作为广大电子爱好者的电子制作读物,以及高中生课外科技活动的辅导书。

图书在版编目(CIP)数据

智能电子制作/(加)Myke Predko 著;王巍,崔维娜译. —北京:科学出版社,2007

(图解电子创新制作)

ISBN 978-7-03-018845-8

I. 智… II. ①M…②王…③崔… III. 机器人-制造-图解 IV. TP242-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 051162 号

责任编辑:岳亚东 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:朱 平

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

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

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 4 月第一次印刷 印张: 26 1/4

印数: 1—5 000 字数: 512 000

定 价: 46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

Myke Predko: 123 Robotics Experiments For The Evil Genius

ISBN: 0-07-141358-8

Copyright © 2006 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

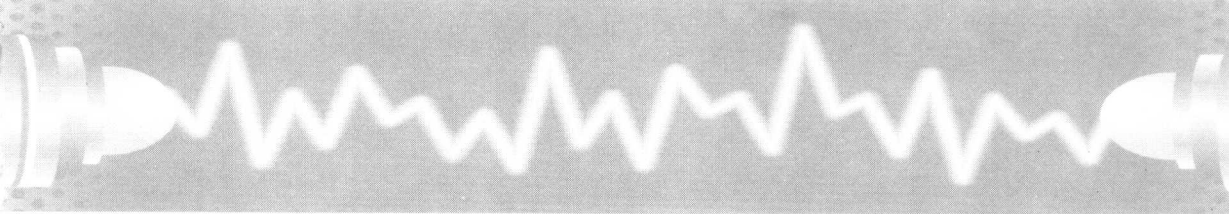
Simplified Chinese translation edition jointly published by Science Press and McGraw-Hill Education (Asia) Co.

本书中文简体版由科学出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版, 未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

著 者 简 介

Myke Predko 是加拿大多伦多市 Celestica 公司的新任技术测试工程师, 他是 McGraw-Hill 的《PICMicro 微控制器编程和制作》(*Programming and Customizing PICMicro Microcontrollers*) 第二版的作者, 同时也是 TAB 电子相扑机器人比赛的主要设计人员。



致 谢

本书共有 123 个实验项目,涉及的内容众多,如果没有下述人员和机构(可能不全面)的帮助,我将无法完成本书的编写工作。

Tabrobotkit, Basicstamp 和 PICList 列表服务器。平时,我经常浏览这些服务器。在临近(或超过)本书的交稿期限时,即便我花在它们上面的时间有所减少,但我仍然坚持每天在上面进行阅读和学习。这三个服务器可能是学习机器人制作、计算机编程和电子学最好的资源和公告板。

Ken Gracey 和 Parallax 的工作人员为本书提供了巨大的帮助和鼓励。他们不断地扩充产品线,并且忠实地履行对客户支持的许诺。从 Ken 那里获得如此之多的支持,使我备感荣幸。他们的产品线非常好。如果仔细观察,您会在电影《X 档案:未来战斗》中发现 BASIC Stamp 1。

我的长期雇主——Celestica 公司。尽管它不是全职的机器人公司,但是却是在工业界中拥有最好人才的杰出科技企业。我经常会因为对公司资源和能力的无知而自惭形秽。

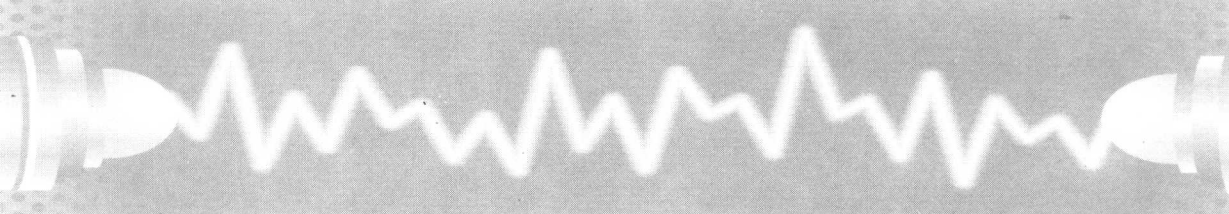
Blair Clarkson 和多伦多安大略湖科学中心的工作人员。该中心为 Celestica 创立了机器人专题研究小组。现在它拥有很多研究和构建机器人的资料,以提供给想要学习机器人技术的人们。我希望我们之间的合作能长久持续。

Ben Wirz 是一个才思敏捷,能在任何领域与我分享创造性思想的人。多年来, Ben 和我共同完成了三个机器人的制作,并且我渴望与他共同完成更多的创作。

Judy Bass 是本书的编辑,为本书备受煎熬。她的工作使得本书具有完整统一的体例格式;并且对于本书手稿的完成大大超出最后期限,她也表现出了极大的耐心。对此,我深表歉意。

我的妻子 Patience 和女儿 Marya,没有她们两人给予我的大力支持,我将不会获得今天的成绩。甚至当地下室冒烟和发生灾祸时,我知道仍然能从你们那儿获得微笑和拥抱。

最后,感谢所有参与电视和电影产品制作工作的人员。从节目中我获得了欢乐和信心。



Myke 的机器人规则

本书中,制作的机器人将自始至终坚定不移地遵循以下 10 条规则:

1. 体积小;
2. 从整体性出发,考虑所有零部件的设计与使用;
3. 机器人并没有快速前进的特点;
4. 保护驱动链;
5. 机器人重心居于机器人的中心;
6. 机器人跑得越快,留给人的印象越生动、深刻;
7. 目标探测器事先发现距机器人足够远的物体,这样机器人在对物体或其自身造成损坏之前能够停止运动;
8. 结构越复杂,机器人本体越重;
9. 负荷越大,本体越重;
10. 如果机器人不工作,那么它就不应该消耗任何能量。

目 录

1 机器人入门

实验 1 卫生纸卷筒机器人	3
实验 2 烟斗通条昆虫	5
实验 3 LEGO 移动机器人	8
实验 4 纸板机器人	10

2 机器人结构

实验 5 切割胶合板	17
实验 6 强化结构	19
实验 7 给木材涂漆	22
实验 8 各种胶	24
实验 9 螺母和螺栓	25
实验 10 锡焊和接线	28
实验 11 组装印制电路板	30

3 电工学理论基础

实验 12 电路及开关(一)	37
实验 13 电路及开关(二)	40
实验 14 电压测量	41
实验 15 电阻和电压降	44
实验 16 电流测量和欧姆定律	46
实验 17 基尔霍夫电压定律和串联负载	48
实验 18 可变电阻器	51
实验 19 基尔霍夫电流定律和并联负载	53
实验 20 戴维南等效电阻	55
实验 21 功 率	57
实验 22 电 池	59

4 | 电磁装置

实验 23	电磁铁	67
实验 24	继电器	69
实验 25	测量地球磁场	70
实验 26	直流(DC)电动机	73

5 | 驱动链

实验 27	电动机驱动的起重机	79
实验 28	给起重机加上滑轮	81
实验 29	开关直流电动机的“H-桥”	82
实验 30	差动驱动式机器人底盘	85
实验 31	步进电动机	88
实验 32	形状记忆合金	91

6 | 半导体

实验 33	二极管	96
实验 34	发光二极管(LED)	99
实验 35	NPN 晶体管和两个 LED 的发光控制	101
实验 36	利用晶体管驱动电动机	104
实验 37	双极型 PNP 晶体管电动机控制	106
实验 38	晶体管电动机 H-桥	108

7 | 我们的朋友——555 芯片

实验 39	闪烁的 LED	114
实验 40	555 按钮延时去抖电路	117
实验 41	R/C 伺服电动机控制	120
实验 42	寻光机器人	123

8 | 光电子学

实验 43	色彩各异的 LED	129
实验 44	改变 LED 的亮度	131
实验 45	多段数码管	134

实验 46	光耦的锁和钥匙	137
实验 47	黑/白表面传感器	140
实验 48	循线机器人	142

9 音频电子学

实验 49	蜂鸣器	149
实验 50	基本晶体管振荡器编码练习工具	152
实验 51	电子听诊器	154
实验 52	声 级	157

10 数字逻辑

实验 53	基本门运算	163
实验 54	CMOS 触摸开关	166
实验 55	基于双极晶体管的 TTL 非门	169
实验 56	积和运算电路	173
实验 57	基于或非门的通用逻辑电路	175
实验 58	异或逻辑运算和加法器	178
实验 59	上拉/下拉	181
实验 60	米老鼠逻辑门	183

11 电 源

实验 61	稳压(齐纳)二极管	189
实验 62	线性电源	191
实验 63	开关电源	194

12 时序逻辑电路

实验 64	RS 触发器	199
实验 65	边沿触发器	202
实验 66	全功能 D 触发器	204
实验 67	触发器的复位	206
实验 68	并行数据	209
实验 69	交通信号灯	210
实验 70	移位寄存器	214

实验 71	圣诞装饰	217
实验 72	随意移动机器人	220
实验 73	计数器	222
实验 74	施密特触发脉冲输入及按钮去抖	224
实验 75	脉宽调制(PWM)发生器	227

13 学习使用 Parallax BASIC Stamp2 进行程序设计

实验 76	在 PC 上安装 BASIC Stamp 窗口编辑软件	232
实验 77	把 PCB 和 BS2 连接到 PC 上运行第一个应用程序	235
实验 78	在 PC 上保存应用程序	238
实验 79	“Hello World!”应用程序解释	240
实验 80	变量及数据类型	243
实验 81	数据格式	245
实验 82	ASCII 码	248
实验 83	变量数组	250
实验 84	在赋值语句中使用数学运算符	253
实验 85	创建简单的循环程序	255
实验 86	条件循环	257
实验 87	“断电”程序	260
实验 88	条件执行代码	262
实验 89	高级条件执行	265
实验 90	在程序中使用“for”循环	268
实验 91	运用子程序节省代码空间	272

14 BASIC Stamp2 的硬件接口

实验 92	控制一个 LED	281
实验 93	Cylon 眼睛	283
实验 94	日立 44780 控制液晶显示器	286
实验 95	乐音输出	289
实验 96	电子骰子	292
实验 97	键盘输入	294
实验 98	阻值测量	297
实验 99	PWM 模拟量输出	300
实验 100	R-2R 数-模转换器	302

15 传感器

实验 101	bLiza, 聪明的计算机	306
实验 102	多路七段数码管	313
实验 103	RTime 光敏传感器	316
实验 104	差分光敏传感器	319
实验 105	声音控制	322
实验 106	机器人“触须”	325
实验 107	IR(红外)物体探测传感器	328

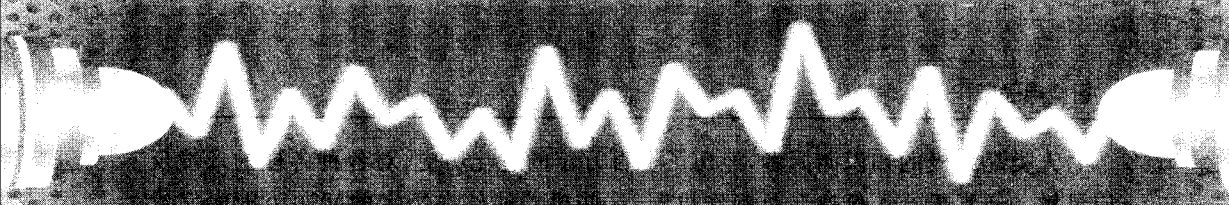
16 移动机器人

实验 108	含 H-桥驱动器的 DC 电动机控制底盘	335
实验 109	状态机编程	340
实验 110	机器飞蛾	343
实验 111	随机运动说明	346
实验 112	遥控车机器人底盘	349
实验 113	R/C 伺服电动机安装	351
实验 114	控制多个伺服电动机	355
实验 115	机器人艺术家	359
实验 116	Parallax 的“GUI-Bot”编程界面	364
实验 117	步进电动机控制	368
实验 118	红外双向通讯	371

17 导 航

实验 119	循线机器人	379
实验 120	循墙机器人	382
实验 121	超声测距	385
实验 122	霍尔效应罗盘	390
实验 123	NMEA GPS 接口	392

18 PBASIC 参考手册



机器人入门

1

当想起“机器人”这个词时,在你的脑海中最先浮现出什么呢?下面给出的一些定义旨在阐述机器人的内涵:

真正的机器人首先是一台机器,我们可以“教”它学习,也可以像对计算机一样对它进行编程,使它能够完成各种不同的动作,胜任各种各样的工作要求等。仅能完成单一工作的机器不是真正意义上的机器人,那些不能接受“再教育”的机器同样也不能称为机器人。

——《学科新书》,1998

机器人技术,这一工程技术与机器人的开发设计、机器人的应用相联系,同时涉及机器人控制的计算机系统、传感器信号反馈及信息处理技术。现在机器人设备的种类有很多,包括机器人控制器、机械手、移动机器人、步行机器人、助残机器人、电视自控装置和微电子机械系统。

——《McGraw-Hill 科学技术百科全书》第8版

机器人是一种能够自动工作的机械装置。机器人可以完成各种复杂工作,尤其适合执行一些对人类而言过于单调沉闷、困难重重或危机四伏的工作。“机器人”这一术语来自于捷克语“robota”,意思是单调、卑贱或辛苦乏味而无趣。机器人能够高效率地完成一些程序化的任务,诸如焊接、钻孔、为汽车机身的零部件喷涂油漆等。

——《世界大百科全书》,1995

机器人是一种能够自动操作的机器。机器人的动作由微处理器控制,按照事先编好的程序完成各种复杂的人类工作。机器人遵循一系列指令,这些指令明确地指示机器人为完成任务所需做的具体工作。

——《世界青年科学家》,2000

机器人(robot /ro:bot/)可定义为:①外貌类似人类或像人类一样活动的一种机器;②能够自动完成各种复杂工作的机器装置;③感觉迟钝、无创新思维但能机械并高效率工作的机器。

——《加拿大牛津词典》,1998

人类是终极的知识渊博者,经历了上百万年的进化历史,对各种各样的环境反应灵敏。通常机器人科技涉及制作机器,这些机器能够在特定的问题范围内完成数量相对较少的工作任务。例如,对生产线上的零部件进行检测和装配。诸如此类的机器人一般结构相对简单,通常包括一个带关节的机械手,上面安装一个抓爪或其他各种设备,能够像人手一样工作;还有一台具备人脑功能的微处理器。

——《应用科学技术百科全书》,1994

机器人:一种事先进行编程,具备多种功能的控制器,经由程序化的动作设置,可以搬运材料、零部件、工具或专用设备从而完成一系列的工作任务。

——《美国机器人协会》,1979

现在,我们在此对机器人进行更为详尽地考察和阐述,由此给出一个新的机器人定义:机器人是对预先编程的外界激励和内部指令反应灵敏的,能够实现完全自动化的机器。我们在这里所用到的“机器人”这一术语异于机器人(android)或其缩写(droid),也异于具备人的特点的机器人,仅为与这些机器装置相关的另外一个术语,能够注意到这点非常重要。

——《机器人完全手册》,1984

机器人是指能够通过编程完成一系列的工作任务,包括处于自动控制模式下的操作和运动的机械装置。由于广泛出现在科幻小说中,机器人这一术语使人联想到具有人类外观的机器,或者工作起来如同具备人类智能的机器。事实上,现代工业机器人在外观方面与人类几乎不存在相似之处。

——《美联社(AP)科学技术词典》

机器人为

(1) 对传感器输入信号反应灵敏的装置。

(2) 无需人为干预,能够自动运行的程序。非常具有代表性的是,机器人具备某些人工智能,因此当它面对不同情况时,能够及时作出恰当的反应。两种常见机器人类型是 agents 和 spiders。

——Webopedia

机器人是一台能够以一定的速度和精度,用于重复执行一项或多项工作任务的机器。由于需要机器人完成的工作任务很多,所以机器人的种类也千差万别。

——What is ? com

机器人具有三个基本特征:

- (1) 灵活性;
- (2) 能够按照编好的程序完成各种复杂工作;
- (3) 编程后能够自动运行。

——《澳大利亚机器人及自动化协会》

1. 机器人不会伤害人类,也不会由于人类迟钝懒惰,而使人类受到损害。

2. 机器人必须执行人类发出的指令,当指令与第一条规定相冲突时除外。
3. 机器人必须保护自己的生命安全,只要保护行为不与第一条或第二条规定相冲突即可。

——艾萨克·阿西莫夫

非常明确,没有单独哪一个定义能够包含机器人的内涵及其工作原理。对于机器人的定义,的确是仁者见仁,智者见智,观点经常相互冲突。现存的各种不同类型的机器人,每一种机器人总是与上述的各种机器人定义中的一些定义相吻合。

在后续的章节中,我们将研究一些不同类型的机器人,并在其中介绍一些在制作你自己的机器人时需要用到的技能和知识。

实验1 卫生纸卷筒机器人

在 20 世纪 50 年代,科学家认为:来自太空的外星人是形体特征与人类相似两足动物。两足动物都有对称的两条胳膊和两条腿。得出这一结论背后的推理,在很大程度上是基于科学家对自己身体的认识。由于科学已经知道人类经过上亿年的进化,能够完成令人惊讶的各种工作。所以科学家根据这一逻辑进一步推理,既然外星人已进化到能够制造出与人类相似的机器的程度,那么他们的形体特征一定也与人类是一样的。

当人们在想象机器人的长相时,上面提到的这种思路实际上也是人们必经的一种思路。如果有人问你机器人的长相,你可能首先想到的是像终结者和 Robby 那样的一个双足机器人。根据 20 世纪 50 年代科学家的逻辑,制作出与人类体形相似的机器人是可行的,因为人类能够运用自身移动,利用自身控制物体,并且这些动作实现起来得心应手。

虽然本书是讲解有关机器人制作方面的入门书,但我相信你肯定希望马上进入机器人的设计和制作。因为我们有成功模式(我们自己的)可循,所以现在就让我们利用卫生纸卷筒、烟斗通条和一些胶,动手设计制作简单的双足机器人吧。一旦制作完毕,你便可以自己动手做本书中的第一个实验——观察双足机器人如何从直立状态转换成向前行走状态。做完这个实验之后,我们可以继续做人类所能完成的其他动作的实验。

这个实验中的机器人由卫生纸卷筒架和烟斗通条构成,这些烟斗通条粘在卫生纸卷筒的内部。如果卫生纸卷筒可以与你身体中的骨骼相比拟,那么烟斗通条就可以用作连接组织和关节。如图 1.1 俯视图所示,应注意,烟斗通条应固定在准确的位置。这样所构建骨架就可以跟你的身体以同样的方式进行运动。因为该模型非常接近人体形态,所以我们希望能够获得成功。利用这台机器人还可以继续进行其他实验,例如机器人走向障碍物,然后把障碍物捡起来等。

请注意观察不同的烟斗通条的连接,你会发现我特意安排的它们的摆放位置,这使得机器人能够像人一样移动。

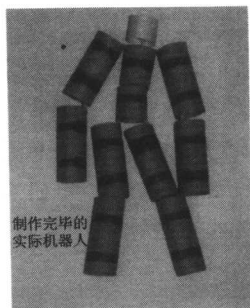
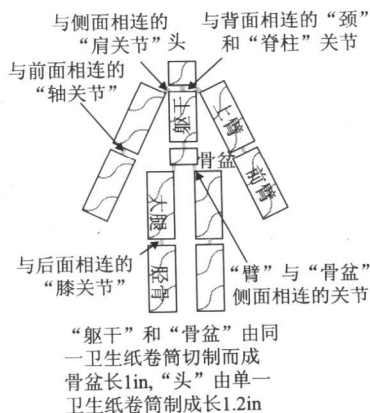


图 1.1 卫生纸机器人俯视图

为了制作机器人,我剪了 10 块长 2.5in(1in=2.54cm)的烟斗通条,收集 10 个卫生纸卷筒。为了剪切烟斗通条,我使用了一套断线钳——不要使用剪刀。而且还要提醒大家:应该等到有可以利用的卫生纸卷筒,而不要“非法”获得卫生纸卷筒。我不希望有一天会收到来自你父母充满愤怒的电子邮件。因为当他们有一天走进浴室时,发现地板上散落的足有 10 个卷筒的卫生纸。

用锋利的小刀把卫生纸卷筒切成两个较小的圆筒,长均为 1in。其中一个圆筒作为机器人的“背”,另一个圆筒作为机器人的“骨盆”。在另外一个卫生纸卷筒上,剪一个约为 0.75in 的圆筒,这将成为机器人的“头”。

利用其他 8 个卫生纸卷筒、一些纸和木胶,就可以开始动手装配机器人。模型飞机用胶、环氧树脂胶和接触胶都不适合完成这项工作。在使用纸或木胶之前,你或许想尝试利用一种叫做氰基丙烯酸盐的胶,例如利用 Krazy 胶固定烟斗通条。就个人而言,我并不鼓励这种做法,因为最终会导致你身上粘满了好多短短的烟斗通条,而卫生纸卷筒内却空无一物。当其他人“荣幸地”看见了这一场面之后,很难让他们把你和“动手天才”联系起来。

在每个卫生纸卷筒的内表面涂上 1in 的胶,以黏结烟斗通条的一端。另在烟斗通条一端涂上胶,大约 1in 长,另一端的 1.5in 长留在卷筒外面。先在烟斗通条的黏结处涂一些胶,再把它贴到卷筒的胶上,以确保黏结牢靠。在这些工作完成之后,把卫生纸卷筒和烟斗通条晾干一天。

下一步重复上面整个过程,使用相同的方法将烟斗通条外露端的 1in 长度粘到另外一个卫生纸卷筒上,再晾干一天。这样,在两个卷筒之间将会有 0.5in 的烟斗通条连接。所有烟斗通条都干了以后,把它们与躯干粘在一起。为了避免胶水

流得到处都是,每次只粘贴一边。当大功告成后(从开始动手算起,大约需要两三天的时间),你将会得到如图 1.1 所示与人很相似的一个机器人模型。

如前述说明,我想做一个实验,设法使机器人从直立状态转换为向前移动状态。当机器人身上的胶都干了之后,可以尝试让它站起来。

可能会出现诸如此类的场景,你最终得到的是一堆表面上连接松散的空卫生纸卷筒,与我得到的最终结果很类似(图 1.2)。你将被棘手的问题所困扰,即确定如何支撑机器人,然后才能进行机器人行走实验。

看着这一堆纸、胶和烟斗通条,你可能得出几个结论。烟斗通条不够坚硬,不能支撑固定的卫生纸卷筒。你可能想出代替烟斗通条的材料,但是我要让你知道,不要白费心机了。即使你有一台能够自行站得住的机器人,尽管它不会脸朝下跌倒,但是提出机器人稳定

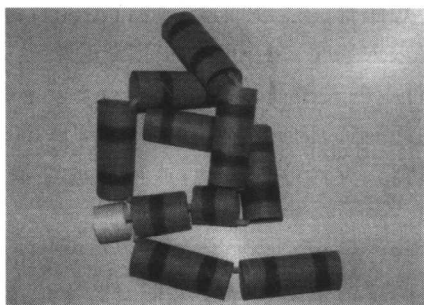


图 1.2 制作机器人过程中一个不顺利的开端

移动所需的运动规划仍然是一件非常困难的事情。提醒你一个事实,那就是你自己也用了大约一年左右的时间才学会站起来,然后学会走路。在这个实验中,你应备齐让机器人起步时所需的必要装备。往前行走只是问题的一个方面,还必须解决如何转弯、如何跨越不平坦的地形等问题。对步行机器人来讲,楼梯仍是一个令人挠头的问题。

众多机器人专家认为,设计一个能够双足直立、并且能够像人一样行走的双足机器人是机器人技术的“圣杯”。这是一项令人难以置信的极富挑战性的工作,一些实力雄厚的公司和实验室也只是刚刚开始获得成功。请记住这一点,我意欲改变你观察机器人的方式和角度,这样你从基础开始,掌握必需的基本技能,可以制作组成机器人的各种元器件。总有一天,你会制作出一台具有人类外表并且举止也跟人一样的机器人。但为了少走弯路,让我们从基础开始学习吧。

实验2 烟斗通条昆虫

通过第一个实验已经了解到,创造一个基于人形的机器人是一项很艰巨的任务。虽然在前面已提及机器人行走所面临的一些问题,但是并未详述,因为我也不知道哪种方法恰好能使机器人可靠站立。我认为,在实际开始动手制作机器人之前,先制作一个稳定的平台(能够实现可靠站立)是至关重要的。然后继续研究机器人如何运动、操作物体。

在解决问题时,为了获得启发或加深理解,我们经常会观察大自然,注意各种不同的动物(甚至植物)面对同一挑战时的反应,试图从中找到答案。如果希望制作一个能够自主运动并能移动物体的稳定平台,那么我们不妨研究一下多足动物。显然,这也应该是简化机器人平台的有效途径。当我们还是个孩子的时候,四肢着地学会爬行的速度显然比学走路要快得多。

想想那些能够四肢着地行走并且像人一样搬运物体的动物,对我而言最熟悉的要数大象了。它依靠四条腿走来走去,用鼻子控制物体。大象(所有的四足动物)行走的关键是依靠自身的动态及不稳定的运动。当大象行走时,重心在其四条腿之间转移,因此它从不会脸朝下跌倒。机器人完成这一动作并非十分困难,但如果机器人突然停止运动,或停止时还有一条腿没有着地,就会出现脸朝下跌倒的情况。

现在对这一问题简单进行测试:你把双手和双膝着地,在地板上爬行过程中,一只胳膊或一条腿还未着地时若突然停止爬行,出现的结果要么身体向侧面倒,要么脸朝下跌倒在地,这取决于你在停止爬行时未着地的身体部位。一开始,你可能不会朝下跌倒,因为你会自动调整抬起的躯体,移动身体重心,这样即使仅有三只着地也很稳定。这个实验可以在体操垫上完成,以确保不会受伤。

通过四足低等动物的行走,我们解决了站立时的不稳定问题,但是运动问题依然没有解决。让我们一起来寻找一种靠多足爬行,但总是很稳定的低级动物吧。能够满足这一要求的常见动物就是昆虫。如果你注意一下蚂蚁的爬行(蟑螂爬行速度太快),就会发现:蚂蚁总是至少有三足着地。如图 1.3 所示,当蚂蚁前进时,位于身体一侧的两条腿和位于身体另一侧的一条腿共同使蚂蚁前进,而另外三条随之跟上,继续迈步前行。

腿部必须安装铰链,用以实现腿的上下运动和前后运动。腿下部的上下运动,使昆虫相对地面上上下下运动;腿上部的前后运动或者使机器人推进,或者使机器人摆

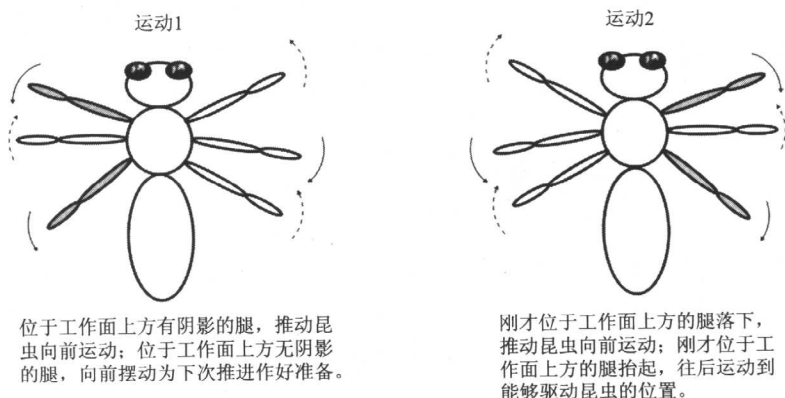


图 1.3 昆虫的移动