

爱上机器人

Robot:
making on your time

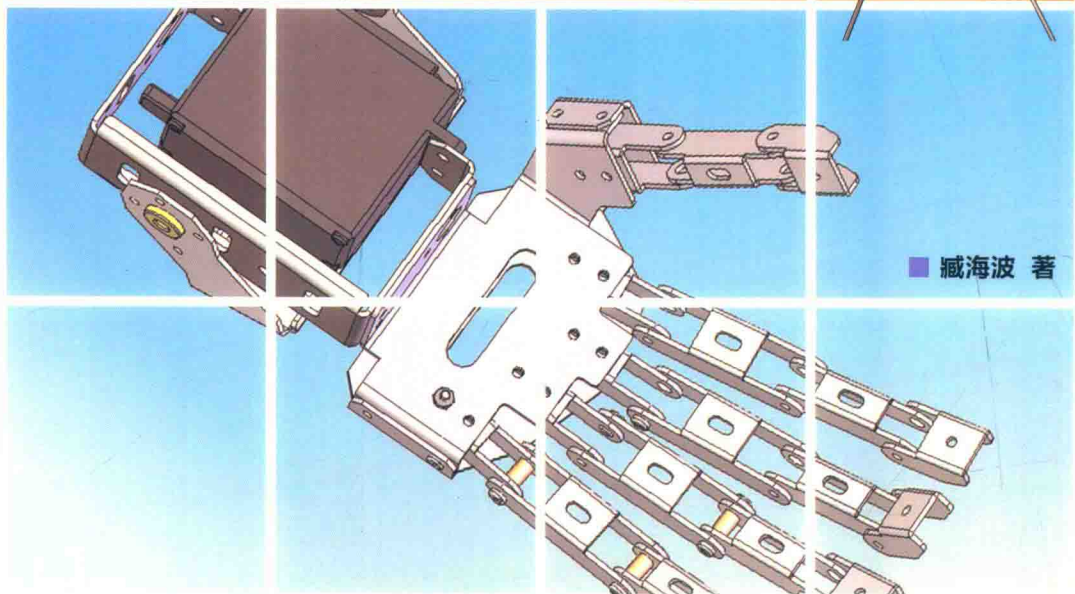
从菜鸟到高手的晋级之路

机器人制作 从入门到精通

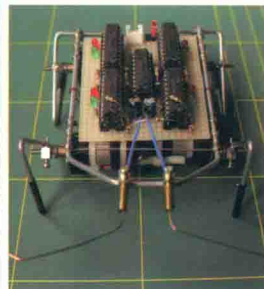
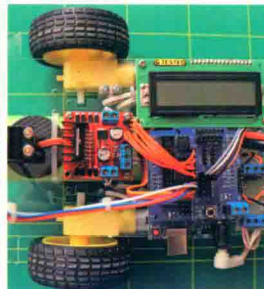


第3版

- ✓ 不满足于简单的电子制作？来挑战这些科技感十足的项目吧
- ✓ 从模拟到数字，从易到难，循序渐进提高机器人制作水平
- ✓ 完全图解！17款机器人制作实例，为你揭开人工智能的奥秘



■ 臧海波 著



中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电 出品

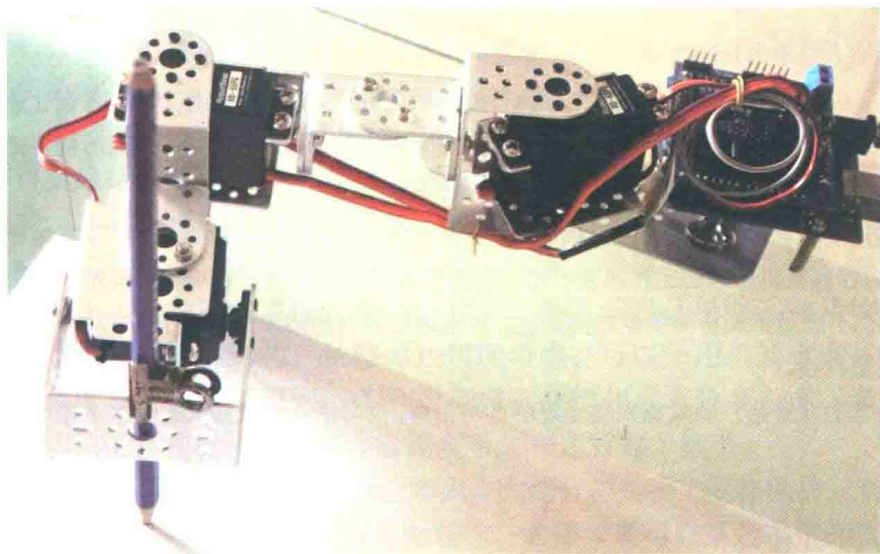
爱上机器人

Robot:
making on your time

无线电 出品

机器人制作 从入门到精通

第 3 版



■ 臧海波 著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

机器人制作从入门到精通 / 臧海波著. — 3版. —
北京: 人民邮电出版社, 2017.2
(爱上机器人)
ISBN 978-7-115-44626-8

I. ①机… II. ①臧… III. ①机器人—制作 IV.
①TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第015248号

内 容 提 要

欢迎来到机器人技术的精彩世界!这是一本通俗易懂的机器人技术实践参考书。本书从仿生机器人的角度出发,以实例形式详细介绍了当今流行的机器人设计、选材和制作方法,意在让读者以最快的速度掌握制作小型机器人所需的知识和技能,提高制作水平。本书第3版在第2版的基础上新增了4个制作实例,新增篇幅占总篇幅的1/4左右,内容更加丰富。

书中收录的17个精彩实例涵盖了模拟机器人、神经网络机器人、数字机器人、数字式电子计算机等4大门类,内容包括机器人的工作原理、设计思路和具体实现方法,可以循序渐进地助你从入门者进阶为高手。不满足于制作简单电路的朋友,快来跟随本书的脚步挑战一下自己吧!你会获得知识与乐趣的双重收获。

本书可作为学生开展第二课堂或兴趣爱好的参考指南,也可供业余机器人爱好者及模型爱好者阅读和参考。

-
- ◆ 著 臧海波
责任编辑 周 明
责任印制 周昇亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京缤索印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 690×970 1/16
印张: 15 2017年2月第3版
字数: 346千字 2017年2月北京第1次印刷
-

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010)81055339 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号



作者简介

臧海波

机器人创客先驱、电子艺术家、《无线电》杂志金牌作者，精通机械电子学与程序设计，尤其擅长微小型机器人的制作，从2009年起撰文介绍机器人制作，被爱好者称为“机器人DIY界的元老”，参与了《爱上制作》（美国《Make》杂志）的翻译，对创客运动在中国的发展起到了推动作用。担任国内机器人团队DIY-BOT的技术顾问，参与了PVCBOT系列机器人的设计。在《无线电》杂志上长期连载机器人、仪表、音频、创意产品测评等门类的文章，原创著有《（仿生）机器人制作入门》《机器人制作从入门到精通》《智能小车机器人制作大全》，参与创作了《Intel Edison智能硬件开发指南》，并翻译了《小型智能机器人制作全攻略（第4版）》《简易机器人制作入门》《学Arduino玩转机器人制作》《学Arduino玩转Kinect制作项目》《Raspberry Pi机器人制作实例》等畅销作品。

前言

《机器人制作从入门到精通》是《机器人制作入门》一书的姊妹篇。与《机器人制作入门》的简单、灵活和易实现相比，这本书侧重从工程学角度系统地展开制作。书中包含了17个完整的机器人制作项目，以实例的形式向读者介绍了开展业余机器人制作需要掌握的思路和技术。最后一章增加了一个科技DIY项目，带你从底层了解数字式计算机的工作原理，并用常见的元器件自制一台可以工作的简易计算机。

机器人的世界是需要想象力的，但是只有想象力还不够，想要在这个世界中自由旅行，探索其中的奥秘，还要掌握一些实用技术。与《机器人制作入门》相同，本书介绍的机器人的搭建手法仍然贯彻灵活多变的方针，只是更加强调了系统性和完整性。为了达到这个目的，你除了要熟练掌握测绘、钣金、焊接、装配和编程这些常见技术外，还应该具备系统化的设计思路。如从快速搭建角度考虑，可以采用搭焊结构；从整体性角度考虑，可以采用机架堆砌式结构；从追求完美角度考虑，就要用到CAD和雕刻机；从简化成本角度考虑，又希望选择更容易采购的工具和材料……制作者需要事先考虑好每个细节。

本书不涉及复杂难懂的理论知识，大部分都是手工制作项目，对工具和材料的要求比较低，可以马上对照着开始制作。希望读者可以通过书中的这些项目，快速掌握多种典型的机器人设计和建造流程，开拓思路，并最终创作出自己的作品！

我要感谢网络机器人社区分享的大量有价值的信息，这些信息是本书创作灵感的源泉。特别要感谢的是DIY-BOT团队、Q_ROBOT对机器龟和6足机器人制作项目提供的软硬件支持。接下来要感谢《无线电》杂志社在本书的写作过程中提出的建议和鼓励，以及为本书的出版所做的工作。最后感谢我的家人牺牲了本就有限的生活空间，为机器人项目提供了装配和测试场地，感谢他们从非技术角度提出的各种意见，这些想法无疑增加了业余机器人项目的趣味性。

臧海波

2016年12月



目 录

第1章 模拟机器人	001
1.1 高熵系统与寻光机器人	002
1.1.1 寻光机器人机械部分的制作	002
1.1.2 寻光机器人电子部分的制作	006
1.1.3 高熵系统	008
1.1.4 结论	009
1.2 2D光电跟踪头	010
1.2.1 2D光电跟踪头的构造	011
1.2.2 制作过程	013
1.2.3 调试与思考	018
1.2.4 换个玩法	019
第2章 神经网络机器人	021
2.1 3D光电跟踪头	022
2.1.1 材料的选择	023
2.1.2 机械结构的制作过程	026
2.1.3 电子部分的制作过程	031
2.1.4 效果	035
2.2 机器蚂蚁	036
2.2.1 制作机器蚂蚁	036
2.2.2 测试版蚂蚁的制作	039
2.2.3 经典的BEAMant 6.0机器蚂蚁的制作	042
2.2.4 机器蚂蚁的运行效果	047
2.2.5 借助游戏模拟神经网络	048
2.3 CPG小实验	049
2.3.1 关于CPG	049
2.3.2 CPG步态	050
2.3.3 4足机器人的制作	053
2.3.4 加入意识	056
2.3.5 结论	057



第3章 数字机器人	060
3.1 基于Arduino的机器龟	061
3.1.1 机器龟的结构部分	061
3.1.2 用光驱外壳或飞盘制作机器人底盘	065
3.1.3 机器龟的电子部分	068
3.1.4 为机器龟编程	074
3.1.5 自制Arduino控制器	075
3.2 打造人工小环境	078
3.2.1 制作过程	079
3.2.2 智能温室控制器的使用方法	084
3.3 9自由度机器乌龟	088
3.3.1 所需的工具和材料	089
3.3.2 设计机器乌龟的结构件	090
3.3.3 加工机器乌龟的结构件	094
3.3.4 机器乌龟整体结构的组装	097
3.3.5 机器乌龟的电子部分	106
3.3.6 最后的总装	107
3.4 机器手指	109
3.4.1 机器手指的设计	110
3.4.2 装配	111
3.4.3 结论	116
3.5 6足机器人	117
3.5.1 6足机器人的构成	118
3.5.2 装配过程	120
3.5.3 夹持器的安装	131
3.5.4 手工制作机器人骨架	135
3.6 传感器、舵机、Arduino和机器狗	138
3.6.1 10自由度机器狗	138
3.6.2 程序让机器狗活起来	144
3.6.3 一些随机想法	145
3.7 数控焰火——“火神”	146
3.7.1 “火神”的构思	146
3.7.2 机器手的制作	147
3.7.3 点火装置的制作	155
3.7.4 加工底盘	156
3.7.5 总装	157
3.7.6 “火神”的效果	159
3.7.7 结论	161





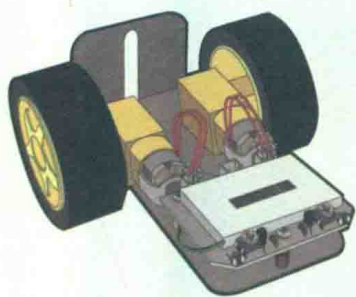
3.8 模块化智能小车制作全攻略	162
3.8.1 成品模块	162
3.8.2 小车	164
3.8.3 传感器	165
3.8.4 主控板	167
3.8.5 电机驱动	168
3.8.6 系统总装	169
3.8.7 程序模块	172
3.8.8 显示模块	178
3.8.9 自制模块	180
3.9 简单好玩的入门级双足机器人	184
3.9.1 机器人的结构设计	185
3.9.2 结构部分的制作	186
3.9.3 电子部分的制作	187
3.9.4 程序部分	190
3.10 用步进电机打造一辆绘图小车	191
3.10.1 42 步进电机	191
3.10.2 A4988 驱动模块	193
3.10.3 制作小车	196
3.10.4 电子部分	197
3.10.5 绘图小车	198
3.11 Arduino+Processing 制作极客风格绘图机	202
3.11.1 硬件	202
3.11.2 软件	204
3.11.3 测试	207
3.11.4 优化	208
3.11.5 硬件升级	211
3.11.6 软件优化	212
3.11.7 舵机的选择	216
3.11.8 TSP 艺术	217

第4章 走近计算机

4.1 自制简易数字式电子计算机	221
4.1.1 运算器的设计	221
4.1.2 寄存器的设计	228
4.1.3 数据总线与输入/输出端的设计	228
4.1.4 简易计算机的使用方法	231
4.1.5 由继电器构成的机电式加法机	232

第 1 章

模拟机器人

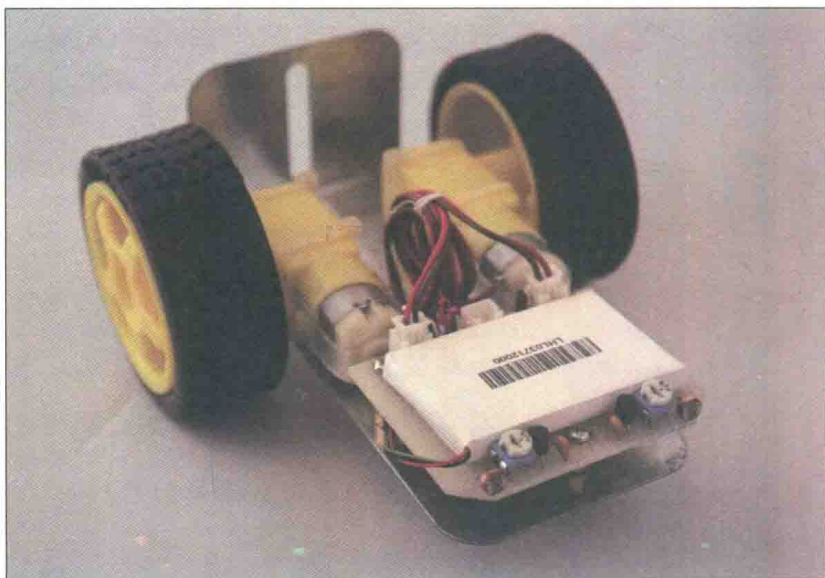


本章介绍由分立晶体管和数字逻辑电路组成的模拟原生动物的趋性行为的简易反射式机器人的制作方法，内容包括双轮移动式底盘的制作、光线传感器的选择、自律式机器人的控制原理、在芯片上迅速搭建电路的技巧，以及施密特触发器的特性。



1.1 高熵系统与寻光机器人

随着智能手机、MID等移动互联设备的普及，云计算与我们的距离也越来越近，而隐藏在云计算背后的则是一个异常庞大的承载着海量实时变化信息的高熵系统。高熵系统的海量信息一方面给云计算带来了无尽潜力，另一方面又要求我们对这些信息进行相对有序地管理。如何更好地理解高熵系统所带来的巨大优势？本文将试着用一部嵌入了高熵系统的小型桌面式机器人给你带来一些启示。



1.1.1 寻光机器人机械部分的制作

首先你要用人工材料制作这样一部机器人：它可以自由活动，可以感受到光，可以对光做出反应，即制作一部具有寻光功能的小型桌面式机器人。你会发现它非常简单，但是麻雀虽小，五脏俱全，它包含了机器人所必需的3大部件：传感器、控制器和执行器。

寻光机器人是最具代表性的仿生机器人。机器人的寻光特性用生物学术语描述就是“趋光性”。大多数生物，包括动物和植物都具有趋光性，还有一些生物对光具有反向趋性（负趋光性或趋暗性），比如生活在土壤中的无脊椎动物。

生物的趋光性可以追溯到一种从史前就存在的生物——海星。海星每只腕足（运动器官）的末端都有一个红色的眼点（感光器官）。这两种器官都可以用人



工材料和现代技术来模拟，并且可以在业余爱好者的工作台上实现。

下面开始制作机器人的身体。身体是一个由两个电机驱动的可以自由活动的小车式底盘。身体相当于机器人的骨架，机器人的传感器和控制器都搭载在它上面。车轮和电机构成了机器人的运动器官。

材料：

- >> 角铁、1块
- >> 车轮、电机，2套
- >> 盖形螺帽、1个
- >> M6螺丝、螺母，1套
- >> 尼龙扎带、4根

工具：

- >> 台钻
- >> 螺丝刀
- >> 平口钳
- >> 偏口钳

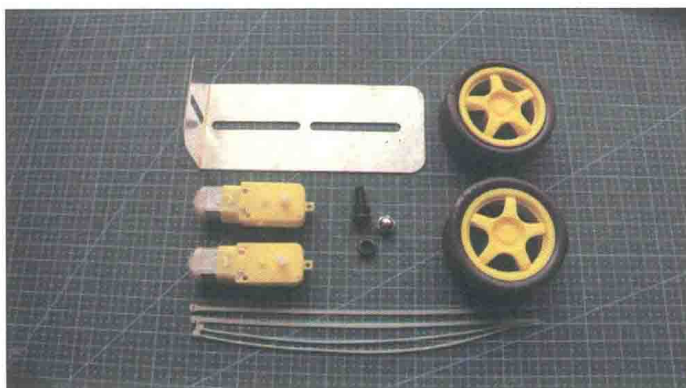


图1-1 机器人车体制作材料

机器人车体制作材料如图1-1所示。对大多数爱好者来说，因为缺少合适的材料和工具，机器人骨架部分的制作一直是一个比较困难的环节。在制作这部机器人时，我也面临同样的情况。因为最近工作室搬家，平时用着顺手材料都打包封存了，只能使用手边临时搜罗到的一些材料。

电机和车轮是市场上常见的型号，在网上任何一家机器人零件店里都可以找到，几乎是国内机器人模型的标配动力部件。角铁是装修时留下的，不知道最初用在哪里，可能是用来吊装抽油烟机的标准件。盖形螺帽是自行车上的配件。M6螺丝、螺母是从散料堆里挑出来的，正好可以穿过角铁上的槽口，在末端固定盖形螺帽。

车体的装配方法如图1-2~图1-7所示。读者也可以发挥创造力，设计结构更精巧的车体。





图 1-2 用台钻在角铁上钻出两个电机的固定孔，用来穿过尼龙扎带固定电机。还要在车头部分钻出控制电路的安装孔

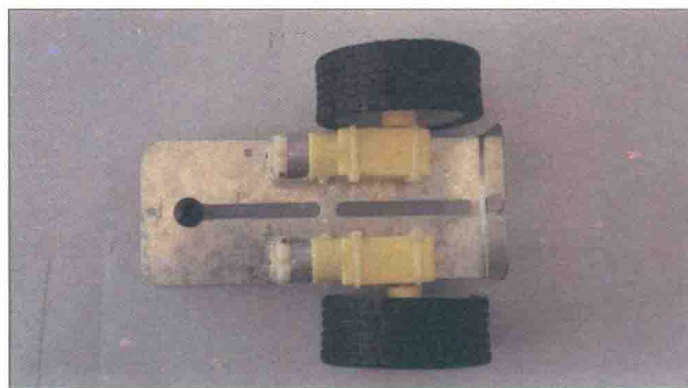


图 1-3 车体顶视图，左侧为车头。这是一个典型的双轮差速小车

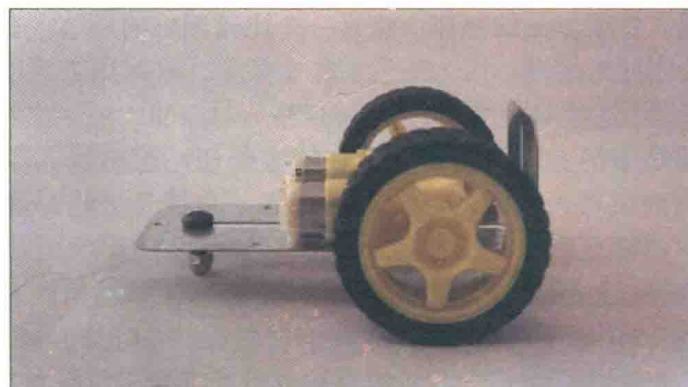


图 1-4 车体侧视图。注意要让车头部分稍低一点，使全车的重心偏向前方，可以防止车体向后翻倒



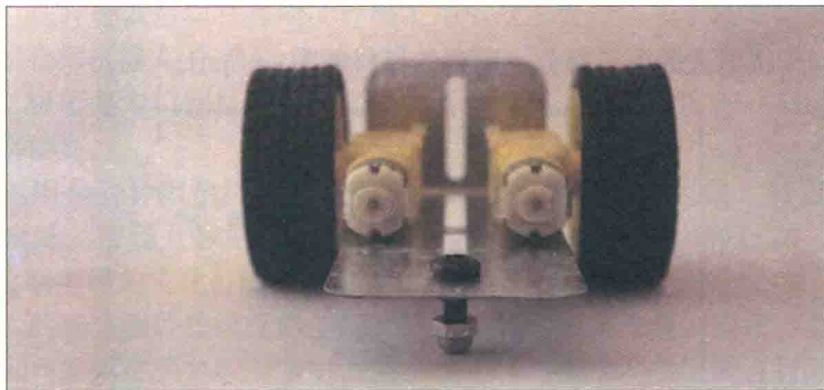


图1-5 车体正前方视图。角铁好像是专门为这个车体设计的一样，可见平时多留意收集身边的材料，会给你带来多么意想不到的惊喜

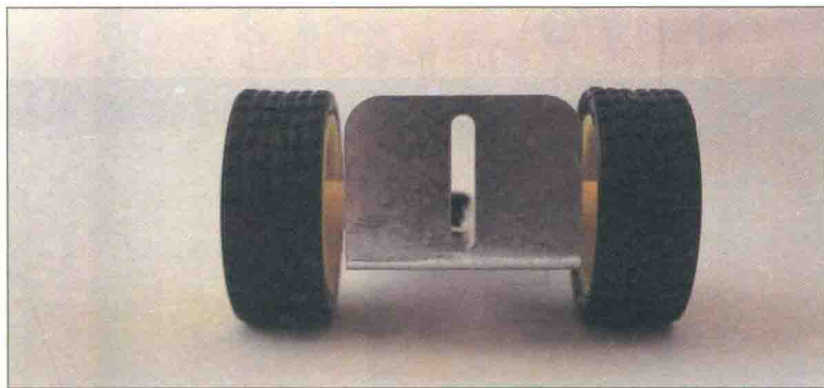


图1-6 车尾视图。注意在定位轮胎位置时，要让轮胎后缘与尾部对齐，使它们看起来浑然一体

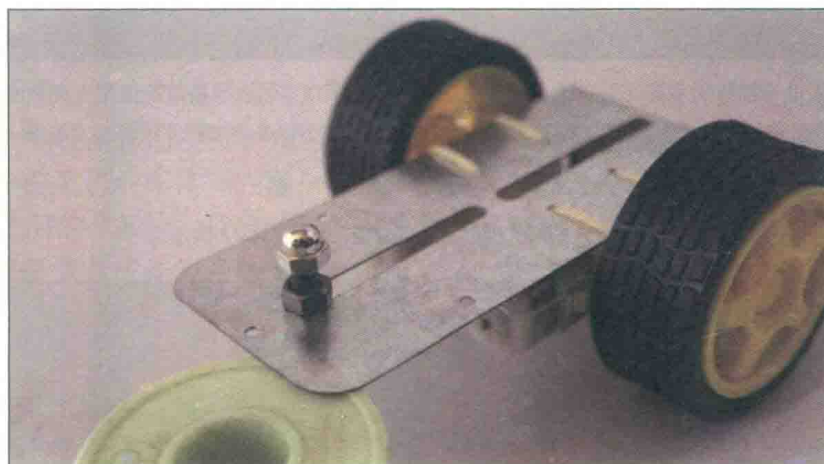


图1-7 车体底部视图。盖形螺帽安装在机器人前方，起到支撑作用，它还是机器人的第3个轮子，相当于一个方向轮。调节盖形螺帽拧入M6螺丝的深浅，可以微调车体倾角（重心）



1.1.2 寻光机器人电子部分的制作

接着制作机器人的电子部分，用到的材料如图1-8所示。

材料：

- >> NPN型小功率三极管，2个，
- >> 光敏电阻或光敏二极管、红外线接收管，2个
- >> 5k Ω 电位器，2个
- >> 1N4007，2个
- >> 洞洞板，1小块，
- >> 插接件，适量
- >> 3.7V锂电池、充电器，1套
- >> 电路板立柱，3个

工具：

- >> 焊台、焊锡
- >> 镊子

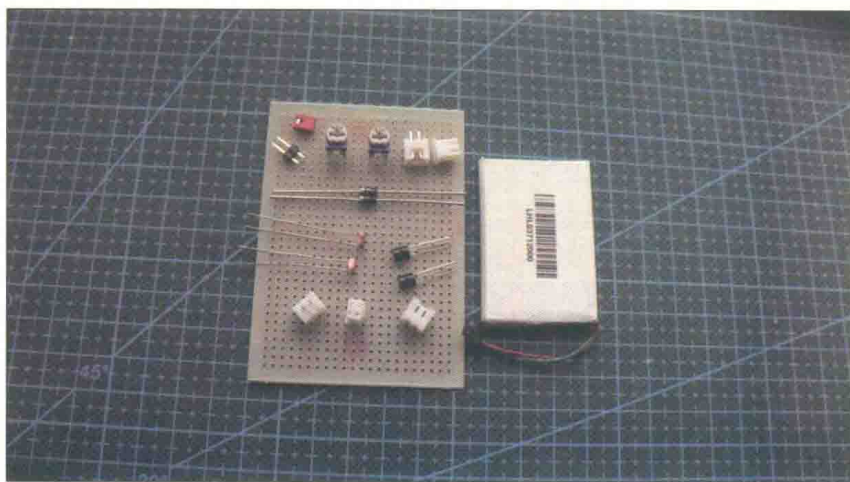


图1-8 机器人电子部分的主要元件。这里使用的三极管是C1815，可以替换成电流更大的8050，也可以使用其他型号的小功率NPN型三极管。锂电池充电器用一个报废的摩托罗拉手机充电器（标称输出4.4V/1A）改造而成

下面简单介绍一下机器人常用的感光器件，如图1-9所示。



图1-9 3种常见的感光器件，从左往右依次为：5mm红外线接收管、5mm光敏二极管、光敏电阻



红外线接收管的特点是工作范围宽、响应速度快。除了可见光，它还可以感知红外线，这样你就可以在黑暗的环境下用电视遥控器（按下任意键产生一个红外光源）来指挥机器人了。

光敏二极管是专门制造的检测光线的器件，优点是灵敏度好、响应速度快，缺点是价格偏高。

光敏电阻是一种阻值随光线强度的增加而下降的特殊电阻，特点是响应速度慢、造价低。市场上常见的光敏电阻是直径为3mm的3516和3526，推荐使用3526，亮、暗电阻的变化范围比3516大。

机器人的感光器件建议配对使用，以减少调试环节出现的问题。测试暗电阻时可以把元件密封在黑色胶卷盒里，盖上盖子，只露出两条引脚进行测量。亮电阻可以在室内自然光条件下测量。

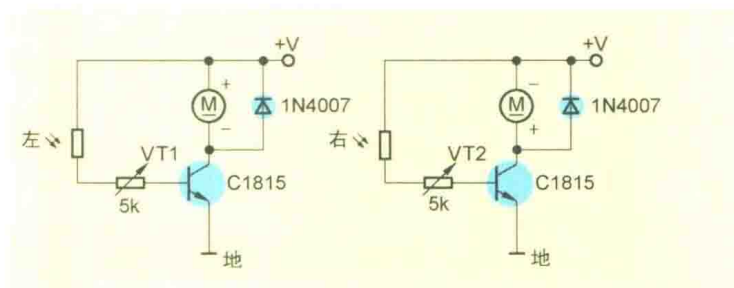


图1-10 机器人电路图

机器人电路图如图1-10所示，这个电路看起来非常简单，加上电机，一共只有10个元件，从电路角度分析，不过就是一对光电开关控制两个电机，彼此互不干扰。但是把整个电路安装在一个可以活动的底盘上，情况就会大不一样。

电路的实际运行效果是把机器人感知到的光线转换成脉冲，驱动电机运转，电机的运转时间取决于脉冲的持续时间。这是一个名副其实的光-机-电一体化系统，传感器（光敏电阻）和执行器（电机）的物理布局决定了机器人具有寻光特性。

这个系统的另一个特点是两个执行器相对独立。举例来说，机器人左眼感觉到较强光线，会使车体向左转，光源（相对车体）右移，信息流动的顺序是左眼→三极管VT1→右电机→车体→光源→右眼→三极管VT2→左电机。由此可以看出，两个执行器之间的“间隔”比较“远”，车体和光源成了它们沟通信息的媒介。这种情况造成的效果是机器人的动作比较机械，行驶轨迹呈之字形或螺旋形。

作为一部只有10个元件的寻光机器人，效果可以说相当不错了。机器人具有朝向光线最强区域移动的特性，用生物学术语描述就是具有“朝向趋性”。大多数昆虫头部都有一对感光器官，可以直接比较两侧光线的强度，进而调整行进方向，从这一点来看，机器人的结构也非常仿生。

注1：不改变电路，只需把机器人的感光器件或电机左、右调换个位置，就可以让它对光呈反趋向性。这样它就成了一部避光机器人。





注2：如果使用光敏二极管或红外接收管，需要把它们反向接入电路，即管子负极连接+V，正极经5k Ω 电位器连接三极管基极。使用不同材料的感光器件，机器人的行为模式也会有所不同。

1.1.3 高熵系统

2005年，机器人设计师Tom Jenner提出了把高熵系统引入机器人的设想。他的想法是在系统里加入神经元风格的振荡器。

前面的电路包含两个变量：时间和脉冲。加入振荡器后的系统里出现了一个连续变化的局部变量，加上系统自身包含的全局输入变量（光敏电阻感知到的环境光线）和输出变量（电机脉冲），使控制器产生PWM信号驱动电机。

改进后的电路（见图1-11）通过加入两只0.22 μF 电容的方法提高了电机控制信号的变数，进而改善了系统性能。这个方法建立了一种电气化的握手机制，拉近了两个电机之间的距离，实现了信息的交互（互相调制）。用Tom Jenner的话说，这是一种“基于线性/脉冲的混合式控制系统，电路里面的每一个元件都可以传输更多的信息”。制作完成的机器人如图1-12所示。

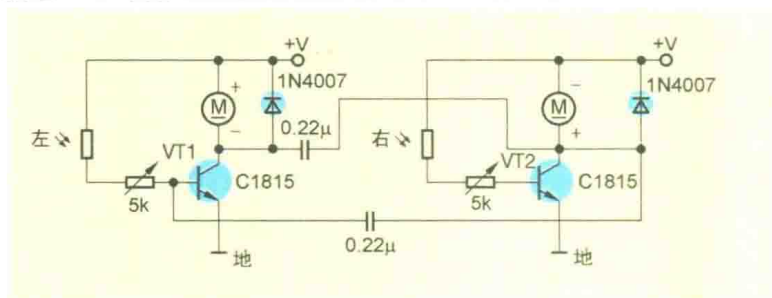


图 1-11 改进后的机器人电路图

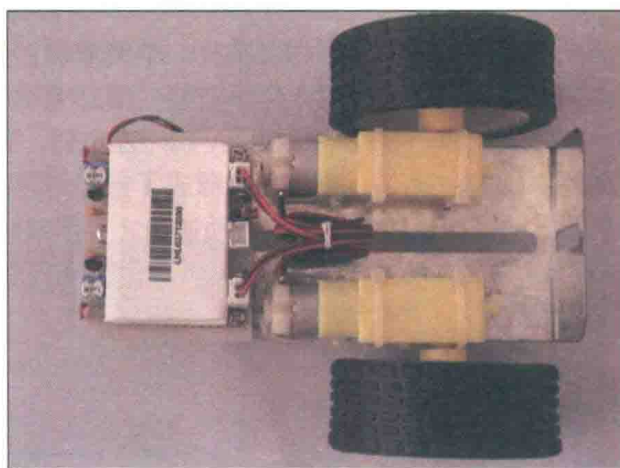


图 1-12 最终完成的机器人



高熵机器人的运行效果具有超乎寻常的动态特性，对外界信息（光线）极度敏感，呈现出一种既紊乱又相对有序的生物特征。与前面机械化的行为模式相比，这个机器人有了自己的“脾气”。它“大体上”喜欢光线比较亮的环境，而在行驶过程中又会时不时地自我陶醉一下，转个圈、画个八字……机器人仍具有朝向趋性。

Tom Jenner在他的原型机上分别安装了一红一黑两支绘图笔，依次记录下了机器人在光源下的两组运动轨迹，如图1-13所示。

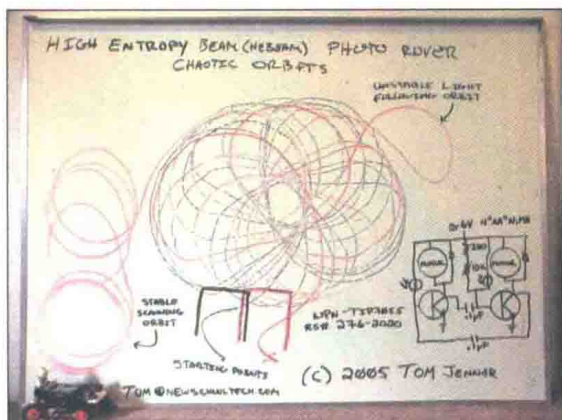


图1-13 Tom Jenner设计的高熵BEAM机器人绘制的运动轨迹（图片来自雅虎BEAM机器人讨论组）

1.1.4 结论

这部机器人的主要设计思路是简化制作。因为机器人设计得越简单，实现起来就越容易，参与制作和讨论的人就越多，新式玩法和创意也越会层出不穷！把简化进行到底，很多机器人制作团队也持同样的观点，比如DIY-BOT团队只用电机和开关就组成了功能不俗的巡边和避障机器人（详见www.diy-bot.com），上海新车间推出的ALF机器人更是仅用几个三极管和阻容元件就实现了循线功能，可谓把模拟技术运用到了极致（详见letsmakerobots.com/node/33449）。

作为本书的第一部机器人，这里要说明的问题是，即使是看似简单的机器人电路，背后也可能隐藏着复杂的理论和不可思议的效果。只需几个元件就能赋予机器人独特的个性，而其中的原理又能够给你带来很多思考与启示，这正是业余机器人制作的奇妙之处吧！本文对高熵系统的讨论只是开了个头，剩下的要靠读者自己在实践中体会了。

和高熵系统一样，机器人技术也具有无穷的潜力，你可以通过它融会贯通各行各业的尖端技术与设计理念，业余爱好者也可以成为平民科学家。

