

爱上机器人

Robot:  
making on your time

ADVANCED WAY OF  
MAKING ROBOT

# 智能机器人 制作进阶

仿生 + 控制 + 算法

■ 臧海波 著

- ✓ 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！22款制作实例，为你揭开人工智能的奥秘

从新手到高手的晋级之路

设计 · 选材 · 制作方法 · 知识与技能

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

爱上机器人

Robot:  
making on your time

ADVANCED WAY OF  
MAKING ROBOT

# 智能机器人 制作进阶

仿生 + 控制 + 算法

■ 臧海波 著

- ✓ 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！22款制作实例，为你揭开人工智能的奥秘

高手的晋级之路

材料 · 制作方法 · 知识与技能

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

智能机器人制作进阶：仿生+控制+算法 / 臧海波  
著. — 北京：人民邮电出版社，2020.4  
(爱上机器人)  
ISBN 978-7-115-52919-0

I. ①智… II. ①臧… III. ①智能机器人—制作  
IV. ①TP242.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第018539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，意在让读者以很快的速度掌握制作小型智能机器人所需的知识和技能，提高制作水平。

本书收录的22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、机器人衍生项目4个门类，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和机械结构的朋友，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 彭志环
  - ◆ 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>  
临西县阅读时光印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本：690×970 1/16  
印张：16 2020年4月第1版  
字数：323千字 2020年4月河北第1次印刷
- 

定价：89.00元

读者服务热线：(010)81055493 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广登字20170147号

# 前言

本书是《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，本书侧重从工程学角度系统地展开制作。书中包含了18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。最后一章由4个和机器人密切相关的机电类DIY项目构成，带你从底层原理入手，用常见材料自制数字式电子计算机、密码机等科技模型。

机器人的世界是需要想象力的，但是只有想象力还不够，想要在这个世界上自由旅行，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。

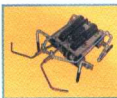
臧海波

2019年11月修订



## 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 .....	004
1.1.3 高熵系统 .....	006
1.1.4 结论 .....	007
1.2 2D光电跟踪头 .....	008
1.2.1 2D光电跟踪头的构造 .....	009
1.2.2 制作过程 .....	010
1.2.3 调试与思考 .....	012
1.2.4 换个玩法 .....	014
第2章 神经网络机器人 .....	015
2.1 3D光电跟踪头 .....	016
2.1.1 材料的选择 .....	017
2.1.2 机械结构的制作过程 .....	019
2.1.3 电子部分的制作过程 .....	021
2.1.4 效果 .....	024
2.2 机器蚂蚁 .....	025
2.2.1 制作机器蚂蚁 .....	025
2.2.2 测试版蚂蚁的制作 .....	028
2.2.3 经典的BEAMant 6.0机器蚂蚁的制作 .....	030
2.2.4 机器蚂蚁的运行效果 .....	033
2.2.5 借助游戏模拟神经网络 .....	034
2.3 CPG小实验 .....	035
2.3.1 关于CPG .....	035
2.3.2 CPG步态 .....	036
2.3.3 4足机器人的制作 .....	039
2.3.4 加入意识 .....	041
2.3.5 结论 .....	043



第3章 数字机器人 .....	044
3.1 基于Arduino的机器龟 .....	045
3.1.1 机器龟的结构部分 .....	045
3.1.2 用光驱外壳或飞盘制作机器人底盘 .....	048
3.1.3 机器龟的电子部分 .....	050
3.1.4 为机器龟编程 .....	053
3.1.5 自制Arduino控制器 .....	054
3.2 打造人工小环境 .....	057
3.2.1 制作过程 .....	058
3.2.2 智能温室控制器的使用方法 .....	063
3.3 9自由度机器乌龟 .....	067
3.3.1 所需的工具和材料 .....	068
3.3.2 设计机器乌龟的结构件 .....	069
3.3.3 加工机器乌龟的结构件 .....	072
3.3.4 机器乌龟整体结构的组装 .....	074
3.3.5 机器乌龟的电子部分 .....	078
3.3.6 最后的总装 .....	080
3.4 机器手指 .....	081
3.4.1 机器手指的设计 .....	082
3.4.2 装配 .....	084
3.4.3 结论 .....	086
3.5 6足机器人 .....	087
3.5.1 6足机器人的构成 .....	088
3.5.2 装配过程 .....	090
3.5.3 夹持器的安装 .....	101
3.5.4 手工制作机器人骨架 .....	105
3.6 传感器、舵机、Arduino和机器狗 .....	108
3.6.1 10自由度机器狗 .....	108
3.6.2 程序让机器狗活起来 .....	114
3.6.3 一些随机想法 .....	115
3.7 数控焰火——“火神” .....	116
3.7.1 “火神”的构思 .....	116
3.7.2 机器手的制作 .....	117
3.7.3 点火装置的制作 .....	125
3.7.4 加工底盘 .....	126
3.7.5 总装 .....	127
3.7.6 “火神”的效果 .....	129
3.7.7 结论 .....	131





3.8 模块化智能小车制作全攻略 .....	132
3.8.1 成品模块 .....	132
3.8.2 小车 .....	134
3.8.3 传感器 .....	135
3.8.4 主控板 .....	137
3.8.5 电机驱动 .....	138
3.8.6 系统总装 .....	139
3.8.7 程序模块 .....	142
3.8.8 显示模块 .....	148
3.8.9 自制模块 .....	150
3.9 简单好玩的入门级双足机器人 .....	154
3.9.1 机器人的结构设计 .....	155
3.9.2 结构部分的制作 .....	156
3.9.3 电子部分的制作 .....	157
3.9.4 程序部分 .....	160
3.10 用步进电机打造一辆绘图小车 .....	161
3.10.1 42 步进电机 .....	161
3.10.2 A4988 驱动模块 .....	163
3.10.3 制作小车 .....	166
3.10.4 电子部分 .....	167
3.10.5 绘图小车 .....	168
3.11 Arduino+Processing 制作极客风格绘图机 .....	172
3.11.1 硬件 .....	172
3.11.2 软件 .....	174
3.11.3 测试 .....	177
3.11.4 优化 .....	178
3.11.5 硬件升级 .....	181
3.11.6 软件优化 .....	182
3.11.7 舵机的选择 .....	186
3.11.8 TSP 艺术 .....	187
3.12 自制数控式多米诺骨牌码放机 .....	190
3.12.1 设计思路 .....	190
3.12.2 制作码牌机 .....	192
3.12.3 控制程序 .....	194
3.12.4 问题和改进思路 .....	200
3.13 画蛋机 .....	203
3.13.1 Sphere Bot .....	203

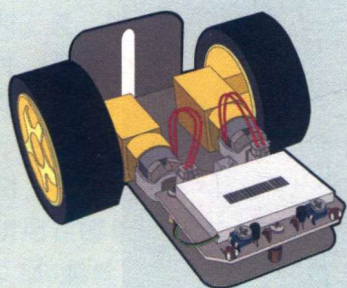


3.13.2	画蛋机的电子部分 .....	204
3.13.3	创客应该怎么选购工具 .....	206
3.13.4	画蛋机的结构部分 .....	208
<b>第4章 机器人衍生项目 .....</b>		<b>211</b>
4.1	<b>自制简易数字式电子计算机 .....</b>	<b>212</b>
4.1.1	运算器的设计 .....	212
4.1.2	寄存器的设计 .....	218
4.1.3	数据总线与输入/输出端的设计 .....	218
4.1.4	简易计算机的使用方法 .....	221
4.1.5	由继电器构成的机电式加法机 .....	222
4.2	<b>自制简易小台钻 .....</b>	<b>224</b>
4.2.1	结构设计 .....	225
4.2.2	工具和材料准备 .....	225
4.2.3	机械结构的制作 .....	226
4.2.4	电路部分的制作 .....	228
4.2.5	使用效果 .....	230
4.2.6	后记 .....	231
4.3	<b>把玩时间——自制机电一体时钟 .....</b>	<b>233</b>
4.3.1	设计思路 .....	234
4.3.2	制作结构部分 .....	235
4.3.3	制作电子部分 .....	237
4.3.4	运行效果 .....	240
4.4	<b>自制一台简单、实用的密码机 .....</b>	<b>241</b>
4.4.1	单码加密法 .....	241
4.4.2	设计密码机 .....	244
4.4.3	制作密码机 .....	245
4.4.4	总结 .....	248



# 第 1 章

## 模拟机器人

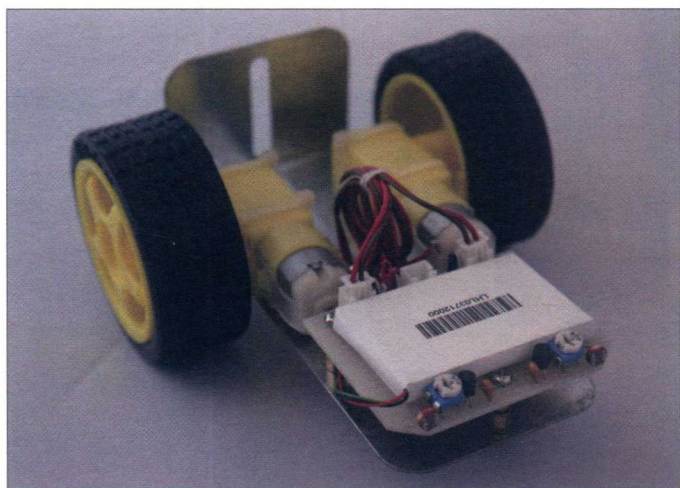


本章介绍由分立晶体管和数字逻辑电路组成的模拟原生动物的趋性行为的简易反射式机器人的制作方法，内容包括双轮移动式底盘的制作、光线传感器的选择、自律式机器人的控制原理、在芯片上迅速搭建电路的技巧，以及施密特触发器的特性。



### 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的管理。如何更好地理解高熵系统所带来的巨大优势？我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

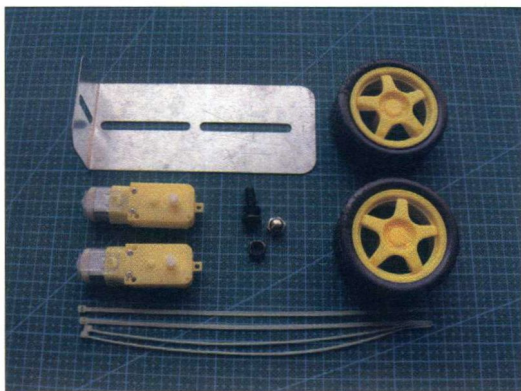


图1-1 机器人车体制作材料

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，平时用着顺手的材料都打包封存了，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

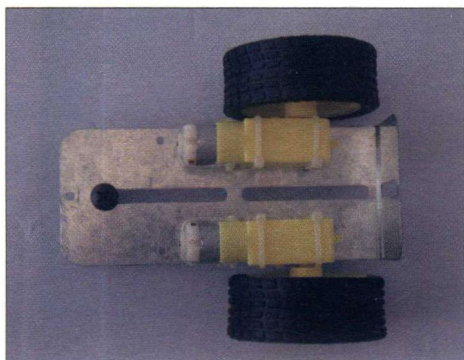


图1-3 车体顶视图，左侧为车头。这是一个典型的双轮差速小车



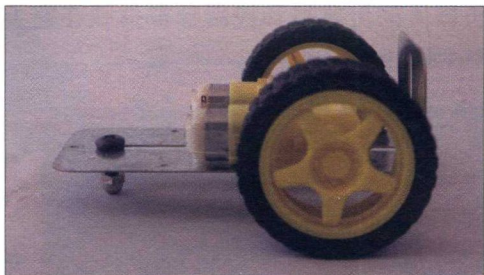


图 1-4 车体侧视图。注意要让车头部分稍低一点，使全车的重心偏向前方，可以防止车体向后翻倒

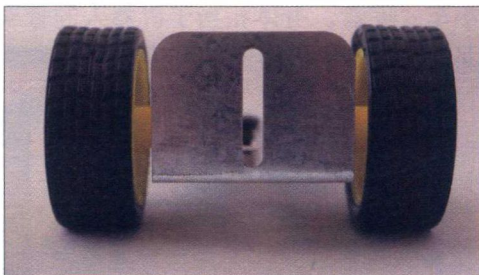


图 1-6 车尾视图。注意在定位轮胎位置时，要让轮胎后缘与尾部对齐，使它们看起来浑然一体

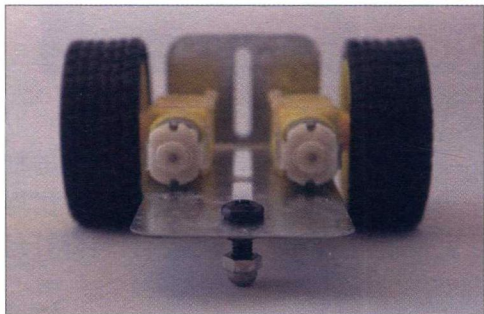


图 1-5 车体正前方视图。角铁好像是专门为这个车体设计的一样，可见平时多留意收集身边的材料，会给你带来多么意想不到的惊喜

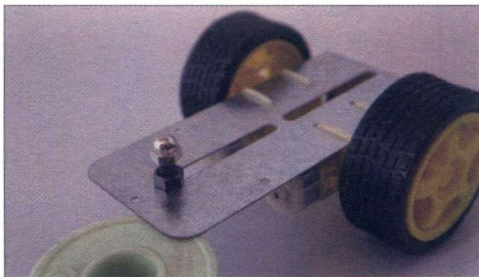


图 1-7 车体底部视图。盖形螺帽安装在机器人前下方，起到支撑作用，它还是机器人的第 3 个轮子，相当于一个万向轮。调节盖形螺帽拧入 M6 螺丝的深浅，可以微调车体倾角（重心）

### 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。

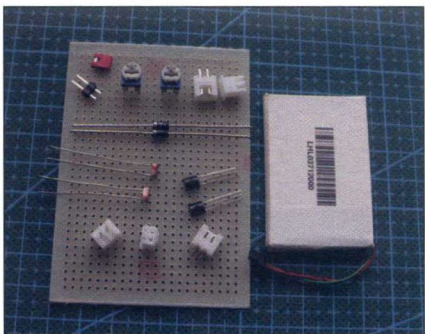


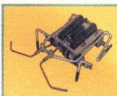
图 1-8 机器人电子部分的主要元器件。这里使用的三极管是 C1815，可以替换成电流更大的 8050，也可以使用其他型号的小功率 NPN 型三极管。锂电池充电器用一个报废的摩托罗拉手机充电器（标称输出 4.4V/1A）改造而成

#### 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
- >> 5kΩ 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



下面简单介绍一下机器人常用的感光器件，如图1-9所示。

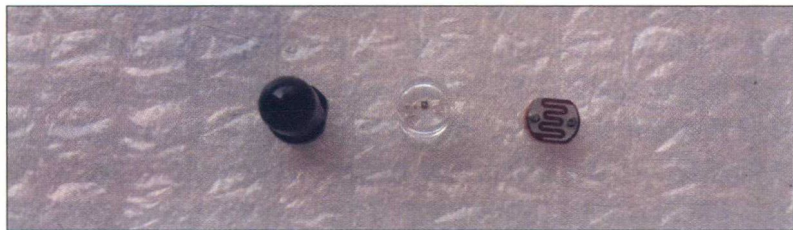


图1-9 3种常见的感光器件，从左往右依次为：5mm红外线接收管、5mm光敏二极管、光敏电阻

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。

机器人的感光元器件建议配对使用，以减少调试环节出现的问题。测试暗电阻时可以把元器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。

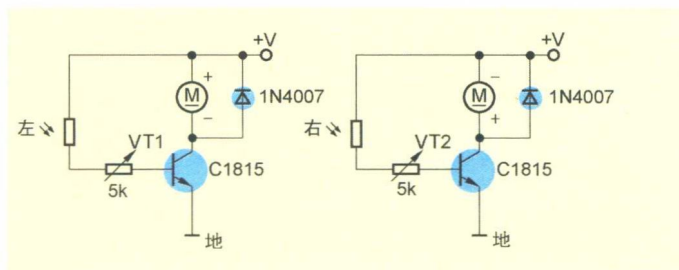


图1-10 机器人电路图

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个元器件，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个元器件的寻光机器人，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向趋性。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 $5k\Omega$ 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 $0.22\mu\text{F}$ 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器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。

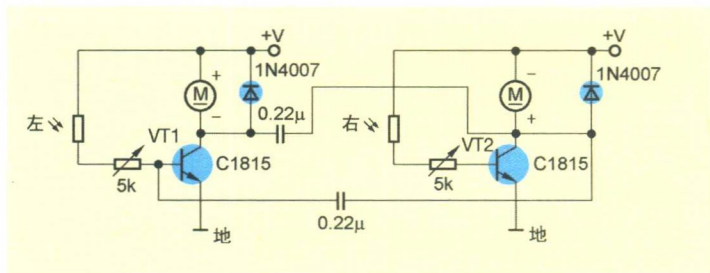
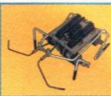


图1-11 改进后的机器人电路图

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。

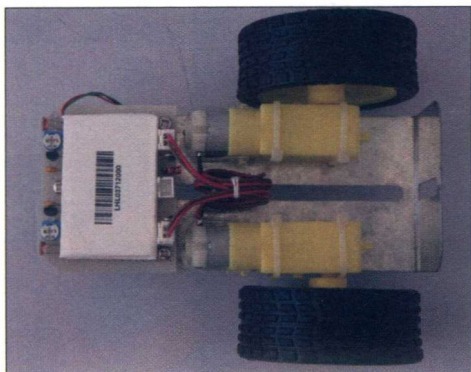


图1-12 最终完成的机器人

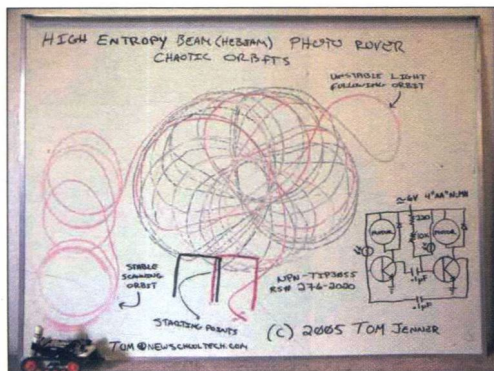


图1-13 Tom Jenner设计的高熵BEAM机器人绘制的运动轨迹（图片来自雅虎BEAM机器人讨论组）

## 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，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。

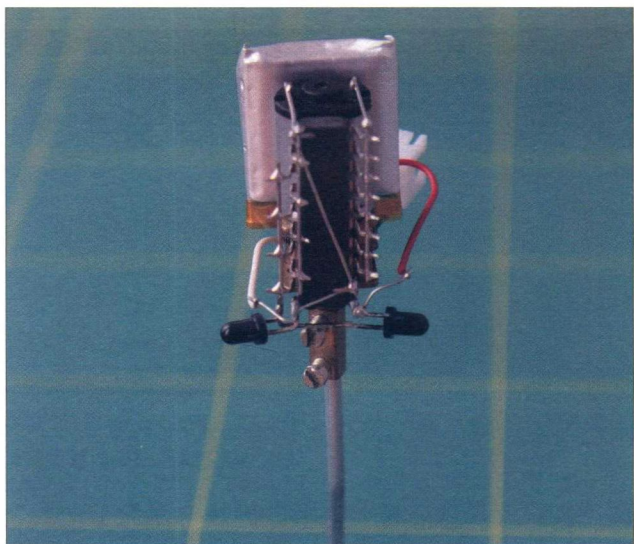
作为本书的第一部机器人，这里要说明的问题是，**即使是看似简单的机器人电路，背后也可能隐藏着复杂的理论和不可思议的效果。**只需几个元器件就能赋予机器人独特的个性，而其中的原理又能够给你带来很多思考与启示，这正是业余机器人制作的奇妙之处吧！本文对高熵系统的讨论只是开了个头，剩下的要靠读者自己在实践中体会了。

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。





### 1.2 2D 光电跟踪头



跟踪伺服系统具有捕获瞄准的功能，广泛应用于航天、航空及军事工业。本节将介绍一个结构简单、容易实现的光电跟踪伺服装置的制作，并由此引出一个和仿生学密不可分的器件——施密特触发器。读者可以通过这个小模型的制作，直观地了解施密特触发器的特性和跟踪伺服系统的控制理念。

与机器人技术一样，跟踪伺服技术对于刚入门的电子爱好者来说，同样是一个既爱又恨的话题。一方面，爱好者现在购买材料的渠道变多了，你几乎可以在市场上买到任何所需的工具和元器件；另一方面，国内的专业书籍过于偏重理论，这就造成了非业内人士有兴趣、想学习，但是越是看书越不知从哪里下手的情况，大篇幅的理论和公式对于动手一族来说味同嚼蜡。实际上，即使是自动控制专业的学生，直到毕业实习，接触到的也都是满眼的方块字和数学公式。

能不能让事情变得有趣一点？先做出一个实际的东西，不管它是否简单，但是可以帮助我们近距离观察一个系统。然后在这个基础上发现不足，寻找改进方案，在此前提下反过来再学习理论，就会觉得目的感更强。这就好比科学家与魔术师，我认为DIY爱好者就是魔术师，魔术的特点是精炼那些再平凡不过的技术，融入创新与娱乐的元素，展现给观众。而越是高明的魔术师，反过来也越会关注自然科学和基础理论。



## 1.2.1 2D光电跟踪头的构造

让我们试着用“低技术”的方式进行思考，一个可以在二维平面上跟踪光线的伺服系统可以有多简单呢？请看图1-14，只需要4个元器件：两个光敏二极管、一片数字逻辑集成电路、一个减速电机。这些元器件都是电子爱好者工作室里常备的材料，它们真的可以制作出一个能够正常工作的自动控制系统吗？答案是肯定的，这个电路可以作为学习自动控制系统的一块敲门砖。

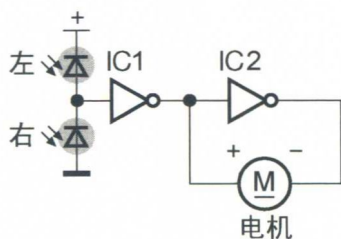


图1-14 2D光电跟踪头的电路图

制作所需的材料和部分工具如图1-15所示。

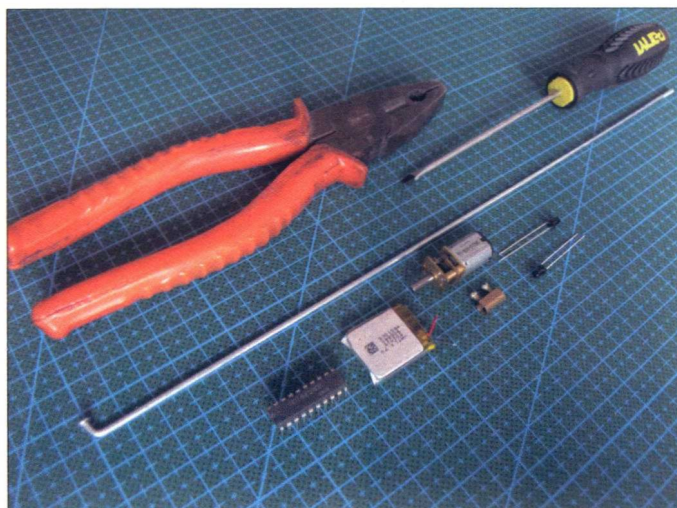


图1-15 制作所需的材料和部分工具

制作光电跟踪头对感光元器件没有特别的要求，红外线二极管、光敏二极管、光敏电阻都可以使用。感光元器件串联在电源两端，为了降低强光下的能量消耗，可以采取适当的遮光措施，使感光元器件在强光下的阻抗不会太低。

74HC240是一片带有施密特触发输入特性的3态8路反相缓冲器，每个反相器的最大输出电流为 $\pm 35\text{mA}$ 。为了能够良好地驱动减速电机双向转动，需要每4个