

爱上机器人

Robot:
making on your time

Make:

A Raspberry Pi-Controlled Robot

[美] Wolfram Donat 著
臧海波 译

Raspberry Pi 机器人制作实例

用Python、Linux和传感器搭建智能小车

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TP2
610

Raspberry Pi 机器人制作实例

用Python、Linux和传感器搭建智能小车

[美] Wolfram Donat 著

臧海波 译

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

Raspberry Pi 机器人制作实例 : 用Python、Linux和
传感器搭建智能小车 / (美) 多纳特 (Donat, W.) 著 ;
臧海波译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2016. 3

(爱上机器人)

ISBN 978-7-115-41646-9

I. ①R… II. ①多… ②臧… III. ①机器人—制作
IV. ①TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第017776号

版权声明

© 2016 year of first publication of the Translation Posts & Telecom Press
Authorized Simplified Chinese translation of the English edition of Make a Raspberry Pi-Controlled Robot (ISBN 9781457186035) © 2015 Maker Media, Inc. published by O'Reilly Media, Inc.
This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.
本书英文版版权归 Maker Media, Inc. 所有, 由 O'Reilly Media, Inc. 于 2015 年出版。简体中文版通过 O'Reilly Media, Inc. 授权给人民邮电出版社, 于 2016 年出版发行, 得到原出版方的授权。版权所有, 未得书面许可, 本书的任何部分不得以任何形式重制。

内 容 提 要

本书将向你介绍树莓派的基础知识、Linux 程序设计入门、电机和各种传感器的用法, 并在这些内容之上, 提供一个制作智能月球车的教程, 这个智能小车可以完成像 NASA 月球车那样的遥控、探测、数据回传等任务。书中还提供了丰富的补充资料, 帮助你扩展机器人的应用功能, 非常适合从零开始的初学者阅读。

-
- ◆ 著 [美] Wolfram Donat
 - 译 臧海波
 - 责任编辑 马 涵
 - 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>
 - 北京市雅迪彩色印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
 - 印张: 7.75 2016 年 3 月第 1 版
 - 字数: 217 千字 2016 年 3 月北京第 1 次印刷
 - 著作权合同登记号 图字: 01-2015-4856 号

定价: 49.00 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

译者序

本书是一本专业性和实用性非常强的图书。与普通单片机开发平台（如 Arduino）不同，树莓派的核心是一块 ARM 处理器，运行在 Linux 系统上。这个平台使用的开发语言是日渐火爆的 Python（看看 Github 上各种语言所占的比例就知道了）。翻译这本书的过程也是我的一个从 8 位单片机过渡到 32 位处理器的过程。

本书围绕着一辆月球车的搭建过程展开，起点定得比较高，因为月球车本身就是一个非常复杂的机器人系统，具有很大参考价值。这个项目涉及软硬件方方面面的问题，树莓派的优势在此得到了充分的体现。虽然这是一个业余制作，但一切都按照真实月球车的设计思路进行。作者从底层硬件——车体的搭建出发，分析了提高车辆机动性的方法，给出了从结构到驱动和供电的全套解决方案。由树莓派控制核心引出了 Linux、Python 和第三方库的安装及使用方法。最出彩的部分是各种外设和传感器的加入，使这个系统实现了自组网、无线刷机、GPS 导航、数据回传和远程监控等“高大上”的功能。

因为我对这个题材也非常感兴趣，边学边做出一件实物的感觉非常过瘾。你可以完全按照作者的思路进行制作，也可以把多个小单元进行组合，定制一辆属于自己的智能小车。比如我就把原文介绍的 GPS 模块换成了更具中国特色的北斗卫星导航模块。你也可以完全不去管什么月球车，只是把书中介绍的树莓派、Python 和传感器的应用作为一个参考，在此基础上搭建全新的平台，设计出其他更精彩的作品！

——臧海波

于北京通州

推荐序

当前在这个“嵌入式”的天下，8位微控制器在功能应用方面略显单薄，如果你正在寻找一个计算能力强而且软硬件资源丰富的平台，那么 Raspberry Pi 应该是你的最佳之选。Raspberry Pi 自问世以来，在3年时间里已在全球销售了近350万台，催生出了众多DIY项目。例如，家庭婴儿监护器、定时咖啡机、钓鱼探测器、智能月球车。其与Arduino硬件、Android系统软件的结合应用，在互联网、物联网、云存储甚至机器人等领域均发挥出了巨大作用。又因其系统内嵌Scratch图形化简易编程软件，所以青少年可以通过它来完成互动游戏、动画故事等作品的创作，为此它也成为了一款供孩子们学习编程的时尚玩具。

说得再多，不如马上动手制作。如果此时你还在困惑不知从何处下手，《Raspberry Pi 机器人制作实例》将会为你答疑解惑。恰逢《星球大战：原力觉醒》电影上映，本人先于广大读者读完此书。电影中的情节唤醒了我曾经想尝试制作一款机器人登上火箭去探索星际奥秘的梦想。也许是一种巧合，此书中的内容都是围绕如何制作太空漫步月球车所开展，在搜索本书硬件资料的时候，本人发现很久之前竟然有人使用Raspberry Pi制作过那个机智、勇敢、而又鲁莽的宇航技工机器人R2-D2。要想制作电影中这么复杂的机器人，首先要打好软硬件基础，全书采用“边探索边学习”的写作风格，玩中学，不枯燥，由浅入深、图文并茂，Raspberry Pi与机器人制作结合巧妙，核心内容突出，实用性强。书中第4章无线设置、第9章定位机器人、第10章传感器大全，内容实用新颖成为全书看点。针对于硬件和工具缺乏的初学者，记住在开始之前一定要准备好硬件，全书围绕制作开展，东西全方便实践。

机器人的制作过程是交流分享快乐的过程。与志同道合的朋友一起交流心得，共同研究解决技术难题，尤为重要。为了方便读者之间学习和交流，大家可以在创客社区www.makerspace.cn的论坛Raspberry Pi专区发帖讨论。如果读者在阅读过程中发现任何问题，无法解决，那么也可以加入“奥松机器人基地”QQ群：16816196。在这个群里你会获得更多关于Raspberry Pi和机器人方面问题的解答。希望这本机器人制作宝典能够唤醒你的机器人梦，未来让机器人载你去探索星际太空中的奥秘。

——于欣龙 奥松机器人创始人、资深创客

致 谢

诚然，写书是一件寂寞的工作，但它绝不是一个人的旅行。在此我想感谢几个人，没有他们就不会有这辆月球车，也不会有这本书。

首先，我要感谢 Becky 和 Reed，感谢他们在材料、工具和机器人测试场地方面提供的支持。

Dexter 和 Jörgen——现在你们可以消停一会儿了（译者注：这两个可能是宠物）。

最后，我要衷心感谢 Make: 和 O'Reilly 的所有工作人员——Brian、Melanie、Frank、Sharon、Gretchen、Dale，特别是 Patrick。你们的工作非常出色，感谢你们对我的帮助！

前言

我们的目标是制作一个机器人。

许多人眼中的树莓派 (Raspberry Pi, 简称 Pi) 只是一个超小型的便携式计算机, 和移动机器人扯不上什么关系。从表面上看它就是一块信用卡大小的电路板, 上面搭载了一颗奔腾三级别的处理器。虽然整个设备的尺寸和一块 Arduino 控制器差不多, 但是却有能力处理 1080P 的高清图像。树莓派的 CPU 主频为 700MHz, 并且引出了 26 个 GPIO, 使它具有超强的与外界交互的能力。没错, 它的背后就是一个机器人的电子脑。

然而, 不用说你也明白把计算机称为电脑和把它打成一个能够指挥机器人运转的电子脑完全是两回事。给 Pi 连上一台显示器, 插上键盘和鼠标, 马上就可以在上面编写程序。机器人则不同, 除非你有明确的目标并且知道各个环节该怎么进行, 否则面对编程以及装调传感器、电机、开关和摄像头等设备的诸多技术细节会感到无所适从。因此尽管树莓派的出现降低了机器人的体积和造价, 事情也不会一下子就变得简单 (见图 P-1)。

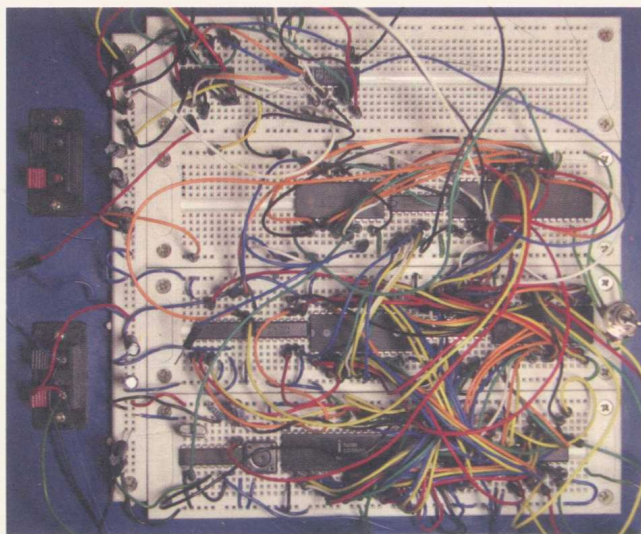


图 P-1

并不像看上去的那么简单

所幸我们的技术始终是向前发展的。上 Google 搜索“raspberry pi robot”，可以得到超过 200 万条结果，其中还不包括 YouTube 视频和类似“raspberry pi robot arm”“raspberry pi robot servo”“raspberry pi robot butler”这样的特定小项。机器人技术和其他学科一样，背后永远存在着—群由业余发明家、爱好者、退休工程师和喜欢挑战极限应用的软硬件黑客组成的幕后英雄。

麻省理工学院组建的无人机编队的确很了不起，但这个项目背后有数百万美元的资金支持。就在同时，你的邻居很可能已经成功创造出了一部可以逗狗、哄孩子和玩游戏的轮式机器人，全部预算不超过 500 美元——不得不令人惊叹。

代码使用许可

本书意在帮助你实现目标。一般来说，你可以在自己的程序或论文里使用书中的代码。如果你想修改部分代码开发新的产品，就需要联系我们获得许可。举例说明，用书中的几段代码编写一个程序不需要获得许可。出售或发布带有书中例子的 CD-ROM 就需要获得许可。引用书中的内容或代码实例回答问题不需要获得许可。把书中的代码实例加入你的产品说明文档则需要获得许可。

希望这本书对你有所帮助并在你的作品中得到提名，我们将会感到十分欣慰。提名通常包括书名、作者、出版商和 ISBN。比如：“Make a Raspberry Pi - Controlled Robot，作者 Wolfram Donat（Maker Media 出版）。版权 2015 Wolfram Donat，ISBN978-1-4571-8603-5。”

如果你对我们提出的代码使用许可有异议，请通过邮箱 bookpermissions@makermedia.com 与我们联系。

Safari® 图书在线



Safari 图书在线是一个面向用户的数字图书馆，内容涵盖全球知名作者撰写的各类

与科技创业相关的书籍和视频。

工程师、程序员、网站设计人员、商业和创意人士把 Safari 图书在线作为一个重要的资源共享平台，通过学习研究积累经验，寻求问题的解决之道。

Safari 图书在线面向团体、政府机构和个人提供了一整套产品定制服务。用户可以在上面访问数以千计的书籍和教学视频，通过数据库检索 Maker Media、O'Reilly Media、Prentice Hall Professional、Addison-Wesley Professional、Microsoft Press、Sams、Que、Peachpit Press、Focal Press、Cisco Press、John Wiley & Sons、Syngress、Morgan Kaufmann、IBM Redbooks、Packt、Adobe Press、FT Press、Apress、Manning、New Riders、McGraw-Hill、Jones & Bartlett、Course Technology 和其他几十家出版社的发行资讯。关于 Safari 图书在线的更多信息，请访问我们的网站：<http://www.safaribooksonline.com/>。

联系方式

如果你有关于本书的意见或建议，请通过出版社与我们联系：

Make:（原版书出版社）联系方式

1005 Gravenstein Highway North

Sebastopol, CA 95472

800-998-9938（北美或加拿大）

707-829-0515（国际或本地）

707-829-0104（传真）

Make: 倡导团结、激励和共享，希望有越来越多的业余发明家带着自己的作品走出工作室，为日益增长的创造一族添砖加瓦。Make: 鼓励人们用技术去改变世界。我们坚信随着设计创意群体的壮大，日常生活、教育模式乃至整个世界都会为之发生改变。Make: 引发的不是一个人，而是一场全球范围的理念变革，我们称之为“创客运动”。

有关 Make: 的更多信息，请访问在线网站：

Make: magazine: <http://makezine.com/magazine/>

Maker Faire: <http://makerfaire.com>

Makezine.com: <http://makezine.com>

Maker Shed: <http://makershed.com/>

我们有一个专门页面列出了本书的勘误表、程序实例和附加信息，地址如下：

http://bit.ly/make_a_raspberry_pi_controlled_robot

对本书的意见建议或技术咨询，可发送电子邮件到：

bookquestions@oreilly.com

目 录

第 1 章 引言	1	车轮、电机和电源.....	33
第 2 章 树莓派入门	6	传感器	36
A 版和 B 版.....	6	杂项	38
B+ 版	11	工具	40
GPIO	11	第 6 章 安装 ServoBlaster ...	41
USB	12	舵机	41
电源	12	PWM 控制	42
外形	12	ServoBlaster.....	44
寻求帮助	12	第 7 章 搭建机器人	46
第 3 章 Linux 入门	15	车体	46
结构	17	电机	49
命令	18	车轮	51
导航	20	后轮	52
第 4 章 无线设置	22	前轮	54
常见问题	23	躯干	56
Ralink 芯片组	23	Pi 的供电	60
GUI 工作模式	24	总装	62
命令行工作模式	26	第 8 章 控制机器人	63
设置静态 IP 地址	27	连接电机和控制器.....	63
运行 Pi 的 Headless 模式.....	28	控制躯干	66
建立一个特定网络.....	29	第 9 章 定位机器人	69
第 5 章 材料说明	31	初步设置	70
车体	31	应用 GPS 模块	71

分析 GPS 数据	74	实时视频传输.....	93
第 10 章 传感器大全	78	第 11 章 最终代码总结	94
SHT15 温度传感器	79	附录 A Pi 基础设置	102
超声波传感器	80	下载 NOOBS.....	102
光敏电阻	81	下载 SD 卡格式化工具.....	103
磁场传感器	83	卡的格式化和文件复制.....	104
微动开关	85	raspi-config 配置工具	104
运动传感器	86	附录 B Python 入门	107
I2C 传感器	87	Python: 与 Pi 有关的四段历史 ...	107
HMC5883L 指南针	89	使用 IDLE	107
BMP180P 气压表	90	Python 脚本	110
任天堂 Wii 设备.....	91		
摄像机	91		

第 1 章 引言

机器人技术不同于其他计算机科学。这是一门涉及计算机、电子和机械工程的综合学科。掌握编程技术是一个很好的开始（也是一个必要的前提），接下去还要设法让程序与传感器、电机等硬件设备相互配合，只有这样才能让机器人走进你的世界。如果控制电路无法提供足够的电流，电机就不能带动月球车前进，直到你找到一个有效的解决办法——更换电机、修改控制电路或减轻车体重量。用微动开关防止小车撞上墙壁是一个不错的主意，但你很快就会发现网上购买的开关无法有效应对一辆 20 磅重（1 磅约为 0.45kg）的小车以 10 英里 / 小时速度（1 英里约为 1.6km）行驶引发的冲撞。你需要学会如何应对这类问题，最好能在第一时间避免。

搭建机器人还要从实际出发，综合考虑技术和材料两方面因素。我很想给这辆月球车安装一个机器人手，但是在附近的五金店找不到合适的工具和理想的材料，最终不得不放弃了这个想法。同样的，离子发动机要等上好几年，而汽车电子座椅上的电机比它实际得多。错误是不可避免的，一个方案行不通就换个思路重新设计。希望本书可以帮助你避免一些常见的错误。书中的这辆月球车也不是一次定型的，好在最终效果还很不错。

另一方面，你可以在一定程度上突破这些限制，用非常规的思路更具创造性地解决问题——创客就是这么炼成的。举例说明，一般人看到 PVC 管就会想到水暖工程。但在玩家眼中，它还是制作减震车轴的上好材料（见第 7 章）。事实上，我的机器人躯干防护用的是水暖软管，车轮用的也是电动车上的。有时你在逛当地的五金店或玩具店的时候，经常会产生灵光一闪的想法。多观察，勤思考，很多特别棘手的问题都可以在这些不经意的瞬间找到答案。

这部机器人是仿照 NASA 的设计搭建的，我喜欢把它称为“月球车”。图 1-1 为最终版月球车的结构示意图。

当然，它的性能远比不上 NASA 的版本，你可以注意到车体的 4 个轮子（NASA 为 6 个）也不具备独立减震功能，但是这个方案经过验证是切实可行的。说到轮子，尽管我也很想设计一部属于自己的双足机器人——比如 C-3PO，但树莓派的运算能力有限，无法胜任双足机器人的控制要求。你可能会认为这没有什么特别的，但事实是双足机器人除了要实现双腿的平衡，还要用腿来走路，情况比想象的要复杂得多。公认比较成功的双足机器人——本田公司生产的 ASIMO（见图 1-2）——花费了数年时间和数百万美金才实现了直立行走。

为了在双脚上保持平衡，机器人内部的传感器必须不断监测机器人的重心（COG），从而确定脚的位置，接着检查落在脚上的重心是否均匀，最好的结果是位于两脚之间，但大多数情况下会有少许偏移。如果机器人的重心过于偏向一侧，机器人的大脑就要发送一个命令让负重的那条腿发力把机器人的重心向另一侧转移，又要防止矫枉过正，最终达成一种平衡。如果机器人上面还有其他载荷，就要进行新的动态计算。

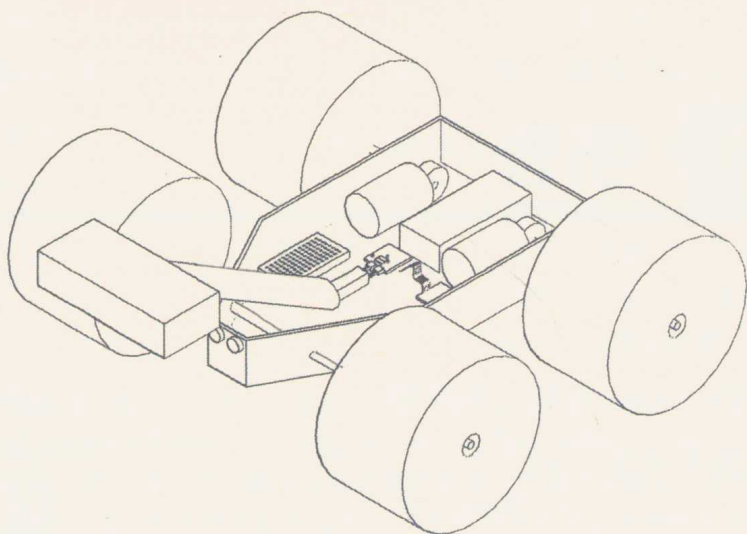


图 1-1

月球车

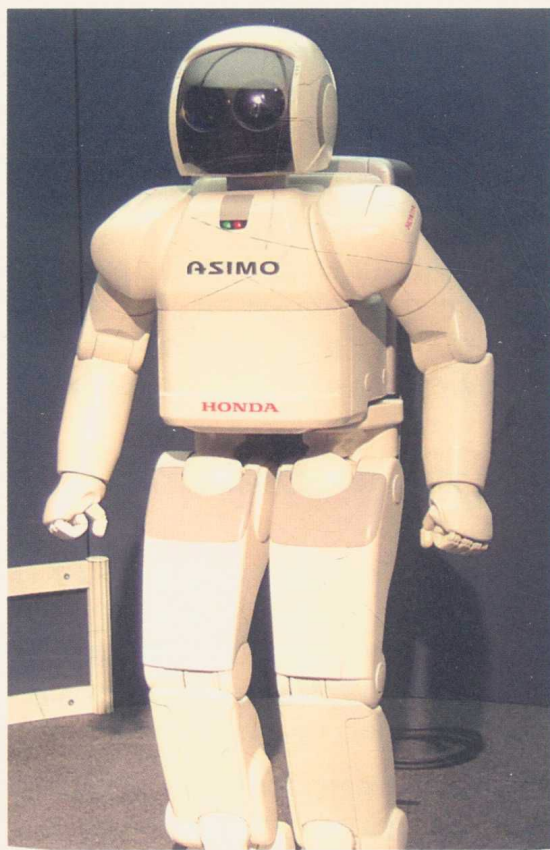


图 1-2

以树莓派的能力无法胜任这种级别的机器人

与之相比，轮子的优势还不少。首先，不用考虑平衡问题意味着 Pi 的运算能力可以用来执行其他任务，比如温度采样或控制机器人躯干的运动。其次，根据你所使用的车轮的种类，轮式载具可以胜任多种地形，这是双足机器人所不能比的。最后，车轮可以做得非常酷——推荐你看看 R2D2、好奇号和流浪者火星探测器，它们就是几个炫酷轮式机器人的极好例子。

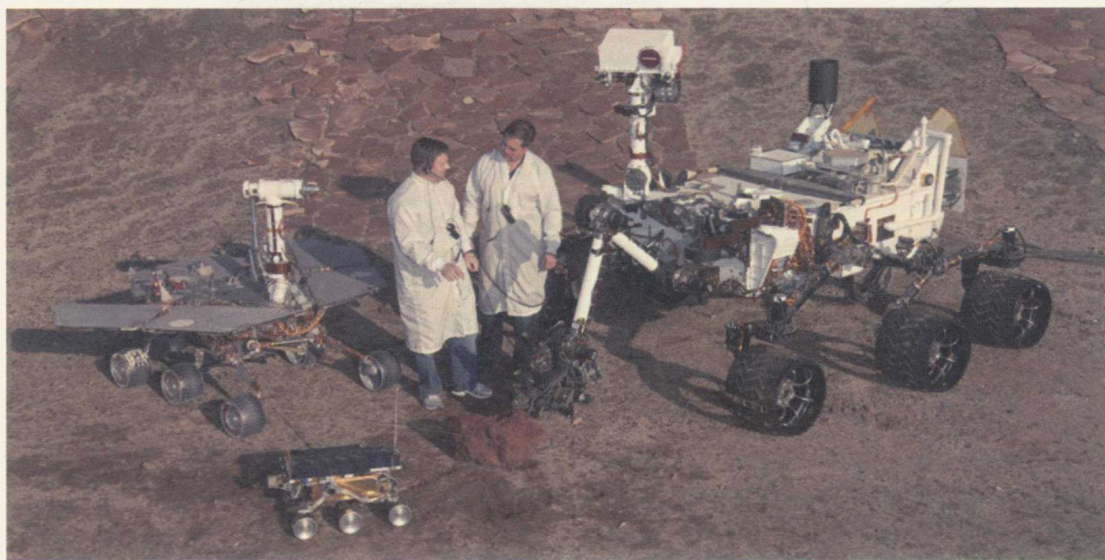


图 1-3

三部了不起的轮式机器人

为了让机器人看起来和大脚车一样酷，我选用了超大号的车轮。一般来说，给任何一辆车子换上大轮胎看起来都会帅气很多。图 1-4 和图 1-5 的对比很好地印证了这个观点。



图 1-4

传统车轮看起来感觉一般般



图 1-5

大脚车，只有一个字——帅

当然，选用更大的车轮意味着在设计上会面临更多的挑战。大车轮一般比较重，而我们在设计机器人或月球车时又希望尽可能减轻重量。机器人越重需要的动力就越大，电池和发动机都要比常规的大。轮子越大滚动阻力也越大，对月球车高速行驶的效率会造成一定影响。我的解决方案是使用电动车上的车轮。这种轮子尺寸比较大，令人印象深刻，而它们的材质是塑料的，重量又很轻。当然，这又带来了一些新的挑战，比如怎样把轮子安装到车轴上，第 7 章会涉及这个问题和相应的解决方案，包括使用螺丝、螺母、螺栓的组合以及环氧树脂胶和冷焊接。按照书中的说明搭建完成的最终作品见图 1-6。

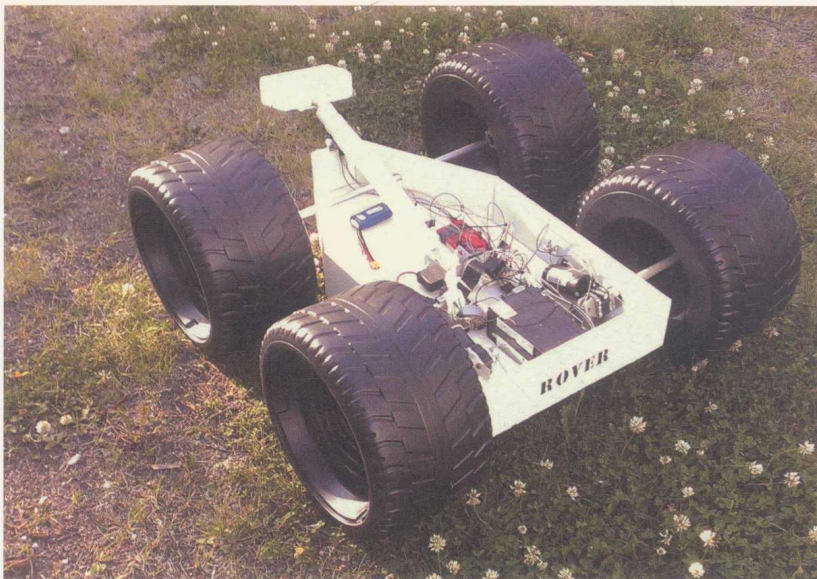


图 1-6

完成后的月球车

搭建完成以后，你还需要编写程序使月球车与你为它选配的传感器互动。我的树莓派开发平台为 Python，书中介绍的也是这个平台。如果你对这个功能强大、不亚于其他脚本语言的程序设计语言还不是太熟悉，可以先看看附录 B 的入门简介。Pi 设计用来运行 Python，程序所需的大量的库和模块可以通过 `sudo apt-get` 命令快速执行，有一些例外我会在用到的时候特别说明。在第 10 章，我会向你介绍一些传感器，以及和它们配套的 Python 代码。在大多数情况下，你编写的传感器测试代码可以保存为一个函数 [(比如，`gettemperature()`)]，应用于最终完成的月球车。在第 11 章，我会提供一个完整的程序，如果你一直跟着做，到那时可能已经掌握了各个细节，那么就没什么能够难住你了。

在你阅读这本书，学习我的机器人搭建经验和体会的时候，请记住一件事：这些步骤只是建议。如果你找不到和我相同的铝材制作机器人的躯干，或者你有一个更好的想法，不要犹豫，尽情尝试！别忘了告诉我最终效果！我非常期待有更多的机器人爱好者加入月球车的搭建中。

如果你准备好了，我们就先从认识树莓派开始吧！

第 2 章 树莓派入门

因为我们搭建的机器人电子脑使用的是一块树莓派，不妨先对这个可爱的小电脑做一个简要介绍。如果你对它比较熟悉，可以跳过这一章往下进行。如果你没接触过树莓派，可以对照图 2-1 对它有个初步认识。在撰写本文时，树莓派基金会又发布了一个新的版本，称为 B+，增加了 USB 接口和 GPIO 引脚的数量。我会在本章的稍后部分对这个版本进行介绍。

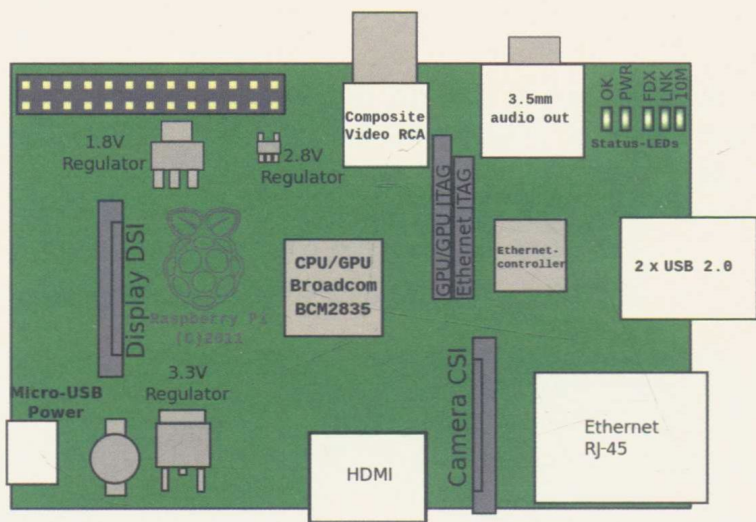


图 2-1

树莓派主板

A 版和 B 版

下面我们从右下方的以太网端口开始，这是计算机上最常见的端口，你对它也是最熟悉。树莓派上的是一个标准 10/100 以太网端口，没什么特别的。“10/100”的含义是每秒 10 或 100M (Mbit/s)，这两个是全球标准的以太网通信速率。老式计算机的速率限制在 10Mbit/s，新型计算机普遍为 100Mbit/s，但通常会以较慢的速率进行通信，以做到向下兼容。全部以太网都汇总到中央集线器或交换机，连接形式可以是无线也可以是双绞线和 RJ-45 水晶头（有点像老式电话的插头）。

沿着板子逆时针观察，下一个端口是一对 USB（见图 2-2）。