

(原著第2版)

Raspberry Pi 机器人开发指南

Raspberry Pi Robotics Projects

Second Edition

◆ [美] Richard Grimmer 著

◆ 汤凯 续欣 卢勇 译

激动人心的
机器人之旅
DIY



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

(原著第2版)

Raspberry Pi 机器人开发指南

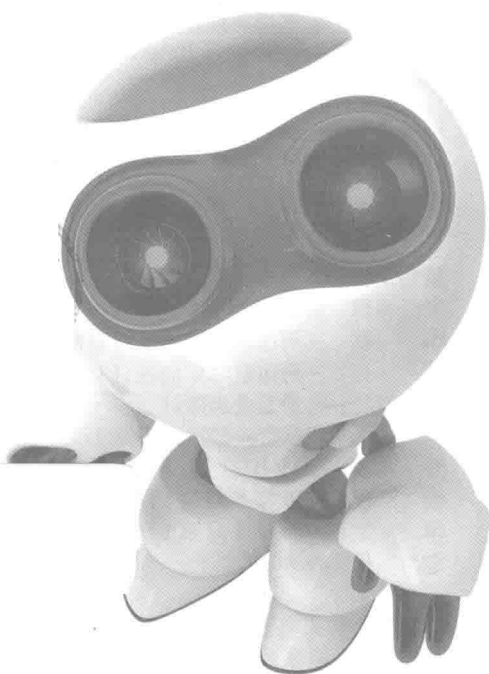
Raspberry Pi Robotics Projects

Second Edition

◆ [美] Richard Grimmett 著

◆ 汤凯 续欣 卢勇 译

激动人心的
机器人之旅
DIY



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以树莓派(Raspberry Pi)硬件平台和 Raspbian 操作系统为核心,介绍自主构建机器人的实用技术与方法。书中讨论了有关构建机器人方方面面的问题,包括树莓派平台和 Raspbian 系统的使用与开发,机器人的语言、听觉、视觉、运动、避障等功能的实现,以及无线遥控、GPS 定位、空中飞行、水面航行等扩展功能的实现。通过系统集成技术,将各个独立功能进行整合,最终打造出一个完整的机器人。本书采用“树莓派硬件平台+Raspbian 操作系统”的组合作为机器人控制系统,通过任务分解的方法,每章实现机器人的一个功能,便于读者学习与理解。针对每个具体的任务,又采用 step-by-step 的方式进行阐述,具有很强的可操作性。

本书可作为机器人爱好者学习如何构建机器人的入门书籍,也可作为国内各大专院校计算机专业大学生的实验指导书。对于参加各类机器人竞赛的大学生而言,本书同样具有参考价值。

Copyright © Packt Publishing 2015. First published in the English language under the title ‘Raspberry Pi Robotics Projects, Second Edition’.

本书简体中文版专有出版权由 Packt Publishing 授权电子工业出版社出版。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制和抄袭本书的任何部分。
本书在中国大陆地区生产,仅限在中国大陆发行。

版权贸易合同登记号 图字:01-2014-5484

图书在版编目(CIP)数据

Raspberry Pi 机器人开发指南/(美)格里梅特(Grimmett,R.)著;汤凯,续欣,卢勇译.

北京:电子工业出版社,2016.5

书名原文:Raspberry Pi Robotics Projects, Second Edition

ISBN 978-7-121-28304-8

I. ①R… II. ①格… ②汤… ③续… ④卢… III. ①Linux 操作系统-指南 ②机器人-制作-指南
IV. ①TP316.89-62 ②TP242-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 047542 号

策划编辑:张小乐

责任编辑:张小乐

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:720×1000 1/16 印张:13.25 字数:270 千字

版 次:2016 年 5 月第 1 版(原著第 2 版)

印 次:2016 年 5 月第 1 次印刷

定 价:49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254462, zhxl@phei.com.cn。

目录

HOUR 1 树莓派入门 /1

开始行动 /1

打开包装盒 /2

给开发板供电 /4

接上键盘、鼠标与显示器 /4

安装操作系统 /6

远程访问树莓派 /13

小结 /25

HOUR 2 树莓派编程 /26

基本的 Linux 命令 /26

在树莓派上创建、编辑和保存文件 /31

在树莓派上创建并运行 Python 程序 /32

树莓派上基本的程序结构 /34

C/C++ 语言介绍 /41

小结 /44

HOUR 3 语音输入与输出 /45

连接硬件，制作并输入声音 /47

使用 eSpeak 让机器人说话 /53

使用 PocketSphinx 识别语音命令 /54

理解语音命令并发起动作 /61

小结 /63

HOUR 4 让树莓派能看见 /64

连接 USB 摄像头并查看图像 /65

连接摄像头扩展板并查看图像 /67
下载和安装 OpenCV(一种全功能视觉库) /70
使用视觉库检测彩色物体 /74
小结 /78

HOUR 5 轮式移动机器人 /79

获取相关硬件 /79
使用树莓派 GPIO 控制直流电机 /81
在树莓派上编程控制移动平台 /83
使用 PWM 控制电机转速 /86
添加控制参数 /88
通过语音命令控制移动平台的运动 /90
小结 /91

HOUR 6 让机器人运动更灵活——学会用腿走路 /92

获取硬件 /92
使用舵机控制器连接树莓派与移动平台 /95
在 Linux 中创建一个程序来控制移动平台 /101
通过语音命令让移动平台真正移动起来 /103
小结 /105

HOUR 7 使用传感器避障 /106

连接红外传感器 /109
使用 GPIO ADC 连接红外传感器 /116
连接 USB 声呐传感器到树莓派 /121
使用电机来移动单个传感器 /126
小结 /129

HOUR 8 真正的移动——远程遥控机器人 /130

硬件准备 /130
将树莓派连接到无线 USB 键盘 /135
使用键盘控制 /136
使用无线网卡(Wi-Fi)远程控制 /140
使用 ZigBee 远程控制 /143
小结 /150

HOUR 9 使用 GPS 接收器定位机器人 /151

连接树莓派到 GPS 接收器 /152

编程访问 USB GPS 设备 /161

连接树莓派到串口 (UART) GPS 接收器 /165

编程访问串口 GPS 设备 /166

在地图中查看定位信息 /168

小结 /174

HOUR 10 系统集成 /175

建立通用控制框架 /176

使用 ROS 实现复杂功能 /183

小结 /186

HOUR 11 上天入地 /187

航海机器人 /187

飞行机器人 /193

潜水机器人 /199

小结 /200

HOUR

1

树莓派入门

树莓派(Raspberry Pi), 结合物美价廉的功能套件, 已经迅猛占领了机器人爱好者社区。不过, 他们中的很多人, 特别是那些嵌入式系统和编程的初学者, 会以失望而告终, 从而最终将硬件丢弃在杂物柜中, 与软盘和旧显示器一道落满灰尘。

开始行动

订购并收到最新硬件产品无疑会令人兴奋。但是, 情况可能会旋即发生变化, 甚至在几分钟内。本章希望能够帮助你, 以避免在拆箱和配置树莓派时出现常见的问题。按照书中的步骤, 回答所有的问题, 可以帮助你理解所发生的一切。如果不能通读本章, 那么就很难在后续的任务上取得成功, 从而导致硬件的荒废, 这显然是我们不愿意看到的。所以就让我们一起开始吧。

编写本书最具挑战的方面是, 必须决定每个步骤应该描述到多么详细的程度。读者中有些是初学者, 有些已有一定的经验, 还有一些可能在某些领域比我了解的更多。我尽量做到简明扼要, 但是同时也要保证透彻, 这样至少读者能够知道按照什么样的步骤可以成功。当你遇到问题时, 我也会指出获取帮助的其他途径。所以, 对于本章, 以下就是你的目标。

- 拆箱并将树莓派开发板连接到电源。
- 连接好键盘、鼠标和显示器。
- 加载并配置操作系统。
- 远程访问树莓派开发板。

注意到树莓派有多个款型: 早期的 A 型开发板和 B 型开发板, 以及新的 A + 型

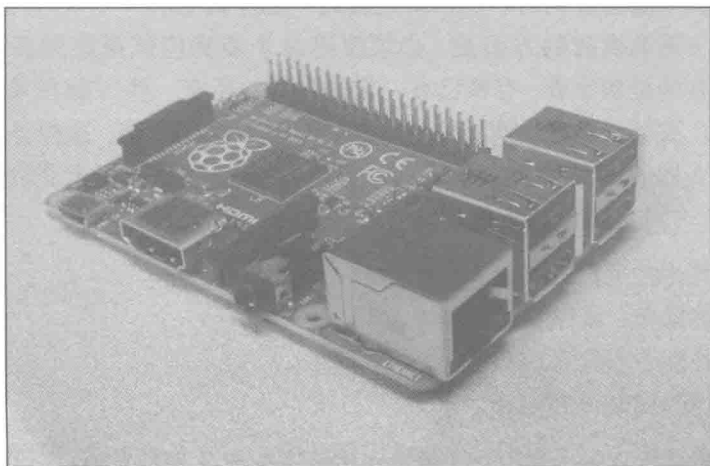
开发板和 B + 型开发板。B + 型开发板最为普及，因为它包含额外的输入/输出功能，4 个 USB 连接，以及更多的内存，所以是本书关注的重点。不过，这并不意味着书中的各个项目必须要有这些额外功能的支持。所以，书中将指出什么时候会用到 B + 型开发板额外的功能，以及什么时候使用 A + 型开发板就足够了。目前树莓派新出了 B2 型开发板，书中并不会特别提到，但这并不意味着不能使用最新的型号。

以下是本章需要的物料清单：

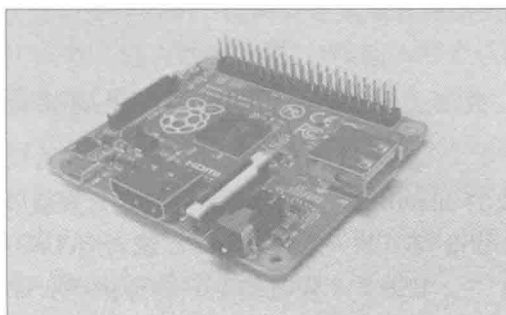
- 一块树莓派开发板(B + 型开发板)。
- 一根为开发板供电的 USB 线。
- 一台有合适视频输入接口的显示器。
- 一个键盘，鼠标和支持外部电源供电的 USB hub。
- 一个容量至少 4 GB 的 SD 卡。
- 一个 SD 卡读卡器。
- 一台连接互联网的计算机。
- 供开发板使用的互联网连接。
- 一根网线(如果使用 A + 型开发板，需要一个供电的 USB hub，一个 Wi-Fi 环境和一个 Wi-Fi 设备，具体内容后续章节会详细介绍)。

打开包装盒

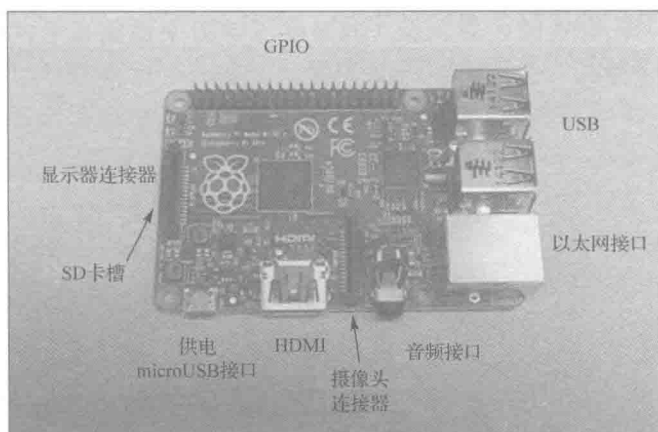
使用树莓派开发任何一个项目之前，首先需要熟悉树莓派开发板。包装盒中除了树莓派开发板，还有一根电源线。树莓派 B + 型开发板如下图所示：



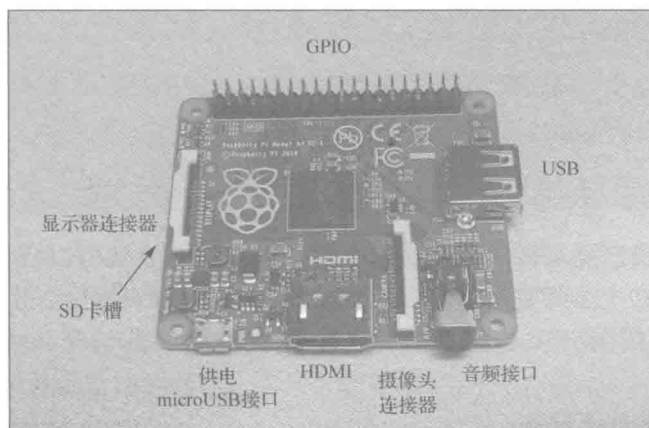
下图所示是树莓派 A + 型开发板图片：



在开发板上连接任何其他部件之前，仔细检查开发板。虽然一般不会有什问题，但是最好做一个快速的目测，也正好熟悉一下开发板的各种接口。下图所示为 B + 型开发板，图片中给出各部分的名称：



下图所示为 A + 型开发板及其各部分的名称：

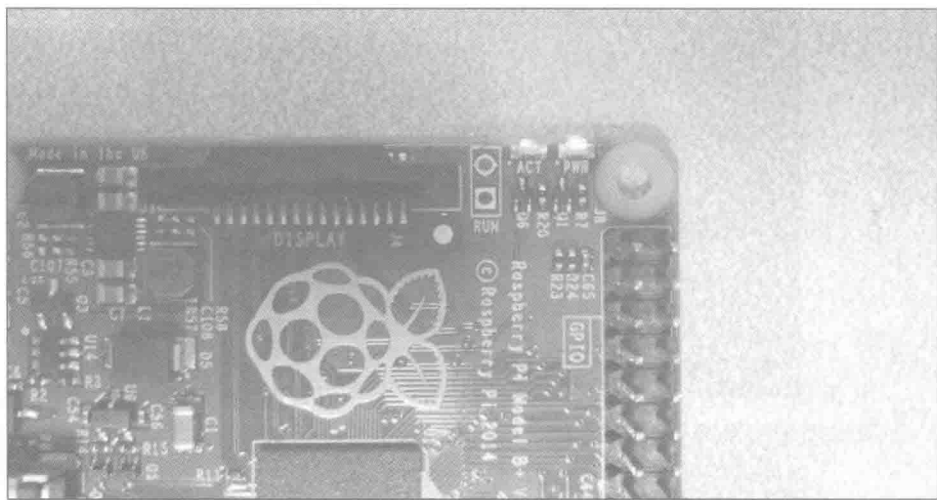


给开发板供电

首先需要给开发板加上电源，这需要使用 USB 连接线。请按下面的步骤操作：

1. 将 USB 连接线的 microUSB 接口的一端连接到开发板。
2. 将标准尺寸的 USB 接口的一端连接到 PC 或者有 USB 接口的稳压电源上。
如果连接到 PC 上，USB 2.0 规范规定只能提供 500 mA 电流。USB 3.0 规范规定可以提供 900 mA 电流。因此有些计算机可能无法为树莓派提供足够大的电流。

如果打算使用直流电源，要确保稳压电源的额定电流在 1000 mA 以上。
接上电源后，PWR LED 会发出红光。下图所示是这个 LED 发光的图片：



一旦到达此步，那么祝贺你！你已经做好了进入下一步的准备。

接上键盘、鼠标与显示器

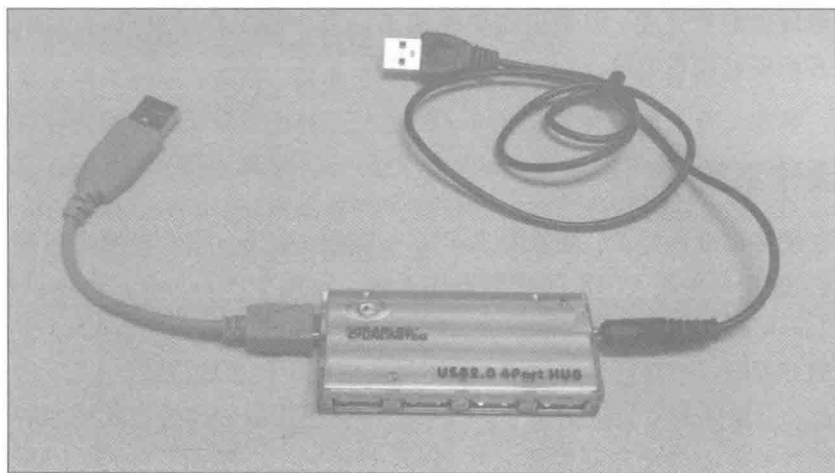
现在开发板已经可以工作了，通过增加外部设备，就可以成为一个独立的计算机系统。这个步骤是可选的，因为在将来，本项目将不会把键盘、鼠标和显示器直接连接到开发板。不过，这样对于系统的调试来说会提供很大的便利。

需要以下的外部设备：

- 一个 USB 鼠标。
- 一个 USB 键盘(可以是无线的,也可以是集成有触摸板的)。
- 一个支持 HDMI 或 DVI 输入的显示器(DVI 输入需要适配器)。
- 一个可以外部供电的 USB hub(如果使用树莓派 A + 型开发板,这是必需的)。

大多数读者已经拥有上述设备,但是如果没有,那么在采购之前,有些需要考虑的因素。先从键盘和鼠标开始,大多数鼠标和键盘都是 USB 接口的。对于 B + 型开发板而言没有问题,因为 B + 型开发板有 4 个 USB 端口。但是,如果使用 A + 型开发板,那么只能选择一个集成有触摸板的键盘。

如果使用 A + 型开发板,就需要使用自供电的 USB hub。不过在采购之前,必须理解两种不同的 hub 之间的区别,一种是自供电式的 hub,另一种是总线供电的 hub。大多数的 USB hub 都为总线供电方式,原因是通常这些 hub 会连接到能够提供较大电流的计算机 USB 端口上,计算机的 USB 端口供电不是问题。但是对于开发板来说却不是如此,开发板上的 USB 端口只能提供有限的电流,所以如果插入一个需要大量电流的 USB 设备,例如 Wi-Fi 网卡,或者是摄像头,那么必须要使用自供电式的 USB hub,可以通过专门的外部电源为 USB 设备供电。下图是此类设备的图片(可以从 www.amazon.com 或者其他电商购买):



注意到上图中的 hub 有两个接口。最右侧的是电源接口,连接到具有 USB 接口的移动电源上。左侧的是 USB 接口,连接到树莓派开发板上。

现在还需要一个显示器,树莓派提供了很多的选择。存在很多种不同的视频标准,下图所示是最常用的接口:



在树莓派 A + 型开发板和 B + 型开发板上都有一个 HDMI 接口。最简单的方式是将开发板直接连接到有这种接口的显示器或者液晶电视上。通常新款的显示器上才有 HDMI 接口，但是如果显示器上有 DVI 输入接口，也可以购买一个廉价的转接器进行转换。

千万要注意号称是 HDMI/DVI 转 VGA，或者 HDMI/DVI 转 S-video 的适配器。这是两种不同类型的信号：HDMI 与 DVI 是数字信号标准，而 VGA 和 S-video 是模拟信号标准。有些适配器确实可以做到这种转换，但是必须要有相应的转换电路，并且需要供电，所以与简单的适配器相比，价格上也要高得多。

现在就可以连接树莓派开发板。在上电前，确保所有的设备都已连接好。大多数操作系统都支持设备的热插拔，这意味着可以在系统启动后再连接设备，但这在嵌入式环境中有点不可靠。因此，当连接一个新的硬件之前，最好先关闭电源。

虽然硬件配置完成，但是仍需要完成下一节中的工作才能开启电源。所以，下面就开始安装操作系统。

安装操作系统

现在硬件都准备好了，接着需要安装一个操作系统。我们将要在树莓派上安装 Linux，这是一种类 UNIX 的开源操作系统。不同于 Windows、Android 或 iOS，现在的 Linux 不是被某个公司所控制，而是社区共同努力的成果。Linux 中的软件大多数为开源软件，而且是开放的，只不过在成长中稍有些混乱。

因此，一系列的发行版出现了，每个都建立在相似的内核，或相似的核心功能之上。这些核心的功能又都建立在 Linux 规范之上。然而，它们是以不同的方式组织的，为不同的组织所开发、支持和管理。Debian、Arch 和 Fedora 就是部分发行版的名称。还有很多其他种类，但是这些是即将使用的 Linux 发行版的主要选择。

本书选择一种基于 Debian 的发行版——Raspbian。选择的原因是：首先，Debian 是另一种发行版 Ubuntu 的基础，而 Ubuntu 是最为流行的 Linux 发行版，因

为有良好的社区支持，所以是一种好的选择；另外，我个人也喜欢在自己的计算机上使用 Ubuntu 发行版。它提供了完善的功能，并且组织得非常好，能够支持最新的硬件和软件。在树莓派和计算机上使用相同的版本使用起来更为方便，至少从使用方式上来说，是完全一致的。这样可以在树莓派上使用一些软件之前，首先在计算机上先试用。我还发现对于新的硬件，Ubuntu/Debian 支持得非常好，这对于我们的项目来说非常重要。

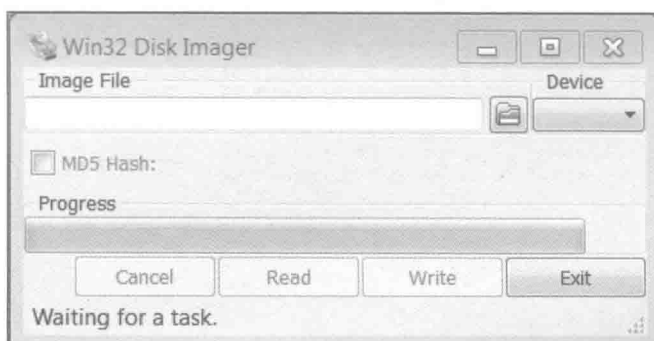
所以，我们将要在树莓派上安装并运行 Debian 发行版的变种——Raspbian。

有两种在树莓派上安装 Raspbian 的方法。可以购买一个预装了 Raspbian 的 SD 卡，或者自己下载到计算机，然后安装到 SD 卡上。购买预装 SD 卡无须指导，只要简单地到网络上搜索销售预装 SD 卡的公司即可。

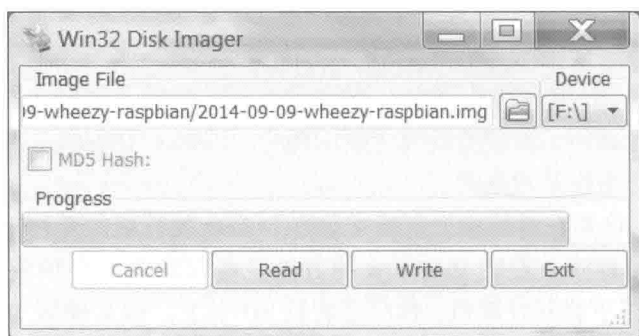
如果打算下载 Raspbian 并自己写入 SD 卡，要决定是使用 Windows 系统，或 MAC OS X 系统，还是 Linux 系统。不过，这里只介绍 Windows 系统和 Linux 系统的使用方法。对于 MAC OS X 系统，参见 <http://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/mac.md>。

首先，需要下载操作系统镜像文件。这个步骤对于 Windows 系统和 Linux 系统来说是一样的。打开浏览器窗口，访问树莓派组织网站：www.raspberrypi.org，在首页顶部，选择 Downloads 链接。有很多的下载选择，进入 Raspbian 部分，在镜像文件的右侧选择 .zip 格式。下载的压缩文件中包含了 Raspbian 操作系统。记录下默认的用户名和口令，后面会使用到。

如果使用 Windows 系统，需要使用压缩工具（如 7-Zip）来解压文件。解压出来的文件后缀是 .img，可以直接写入到 SD 卡上。有了镜像文件，需要一个将镜像文件写入到 SD 卡的工具软件。我使用 Windows 系统中的 Image Writer 工具。可以在 www.raspberrypi.org 网站首页的顶部找到该软件的链接。将 SD 卡插入到 PC，运行工具软件，可以看到下面的界面：



选择正确的 SD 卡和镜像文件，如下图所示：



然后单击 Write 按钮，稍等片刻，写入完成后从 PC 上弹出 SD 卡。

如果使用 Linux 系统，同样需要解压文件，然后写入到 SD 卡中。只要使用一条命令即可。不过，需要先找到 SD 卡在 /dev 目录下的设备名，命令是 `ls-la/dev/sd*`。在插入 SD 卡之前运行该命令，可以看到：

```
richard@vicki-automated: ~
richard@vicki-automated:~$ ls -la /dev/sd*
brw-rw---- 1 root disk 8, 0 Jul  4 10:34 /dev/sda
brw-rw---- 1 root disk 8, 1 Jul  4 10:34 /dev/sda1
brw-rw---- 1 root disk 8, 2 Jul  4 10:34 /dev/sda2
brw-rw---- 1 root disk 8, 5 Jul  4 10:34 /dev/sda5
richard@vicki-automated:~$
```

然后插入 SD 卡，再次执行该命令，可以看到：

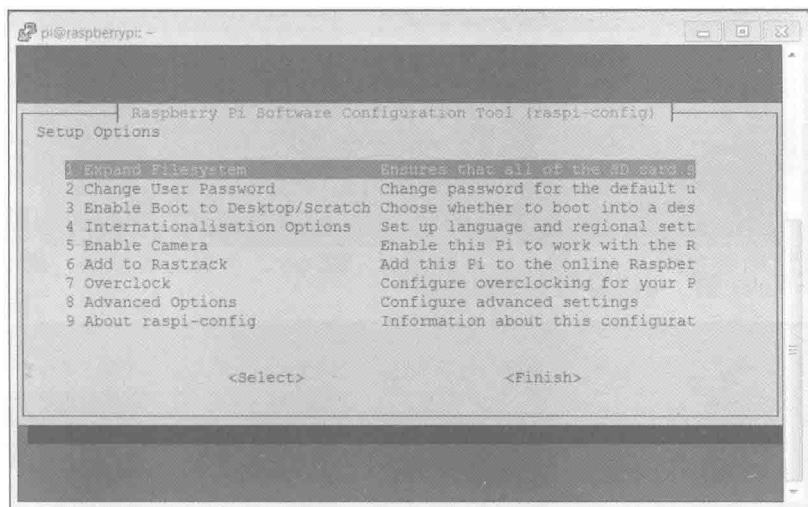
```
richard@vicki-automated: ~
richard@vicki-automated:~$ ls -la /dev/sd*
brw-rw---- 1 root disk 8, 0 Jul  4 10:34 /dev/sda
brw-rw---- 1 root disk 8, 1 Jul  4 10:34 /dev/sda1
brw-rw---- 1 root disk 8, 2 Jul  4 10:34 /dev/sda2
brw-rw---- 1 root disk 8, 5 Jul  4 10:34 /dev/sda5
brw-rw---- 1 root disk 8, 16 Jul 11 09:50 /dev/sdb
brw-rw---- 1 root disk 8, 17 Jul 11 09:50 /dev/sdb1
brw-rw---- 1 root disk 8, 18 Jul 11 09:50 /dev/sdb2
richard@vicki-automated:~$
```

可以发现 SD 卡对应于 `sdb`。进入到下载文件的目录，执行以下命令：

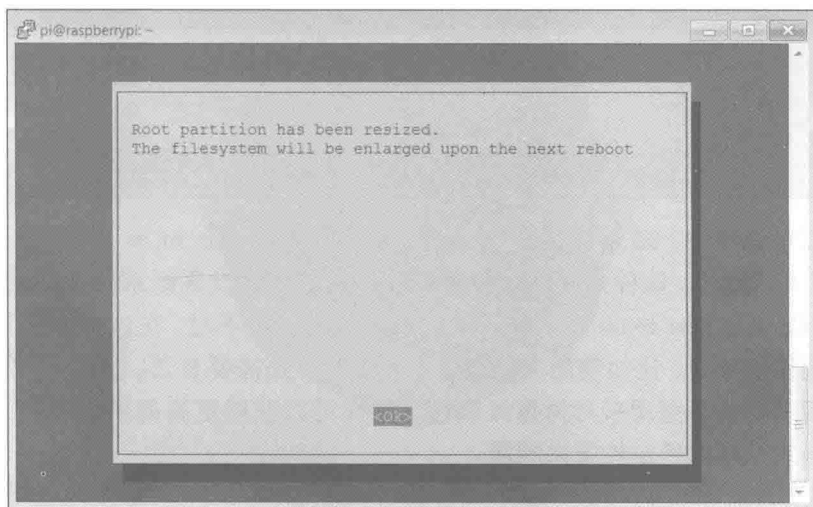
```
sudo dd if=2014-09-09-wheezy-raspbian.img of=/dev/sdX
```

`2014-09-09-wheezy-raspbian.img` 可以替换为实际下载的镜像文件名，`/dev/sdX` 替换为实际的 SD 卡设备名，本例中是 `/dev/sdb`。一旦镜像文件写入完毕，执行 `eject` 命令弹出 SD 卡，就可以准备插入树莓派中启动了。

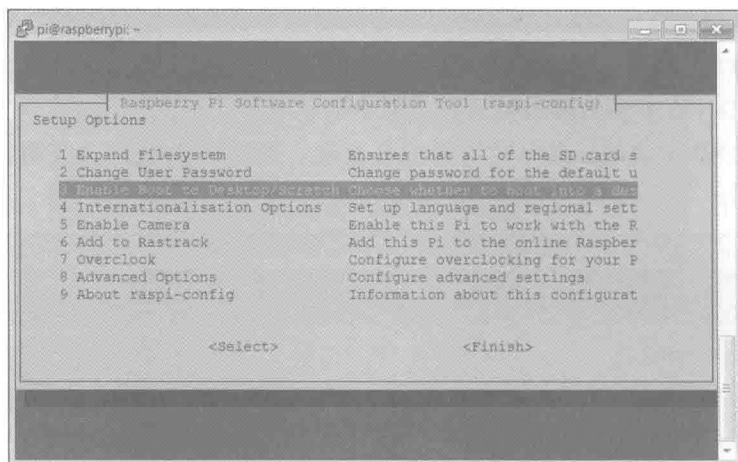
在插入 SD 卡之前，确保树莓派没有上电。然后加上电源。启动后，可以在屏幕上看到：



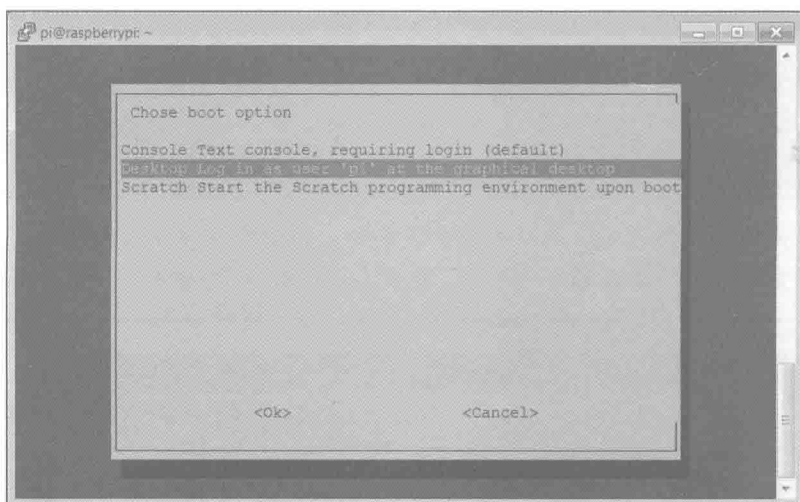
接下来要做两件事情，不过根据个人偏好，也会有其他的操作需要完成。首先，扩展文件系统并占有整个 SD 卡。按下 `Enter` 键，可以看到：



再次按下 Enter 键，回到主配置界面。现在选择“Enable Boot to Desktop/Scratch”选项。



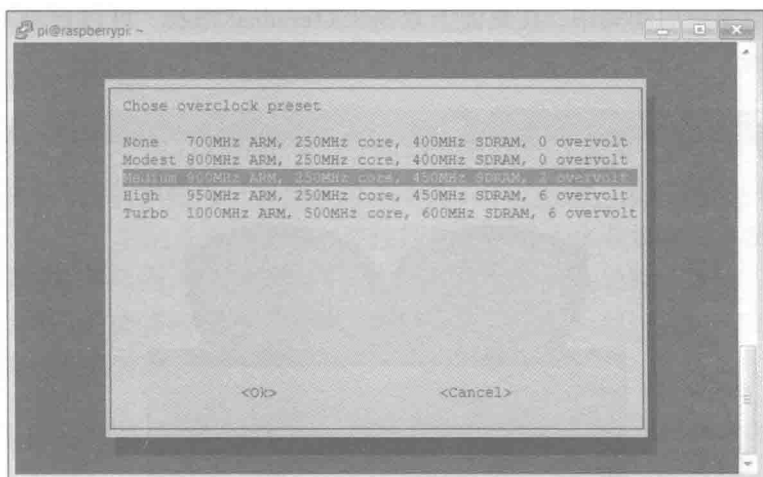
按下 Enter 键，可以看到下面的界面：



在三个选项中，最好选择中间选项，即“Desktop Log in as user ‘pi’ at the graphical desktop”。这种方式可以按照自己喜欢的方式设置好系统并启动。也可以选择“Console Text console, requiring login (default)”，不过，在这种情况下，如果需要使用图形环境，比如使用 VNC Server 的方式，还需要登录。

最后一种选择是用来对树莓派超频。这样可以获得更高的系统性能。但是，这样做会对系统的稳定性带来问题。

通常我会对树莓派进行一定程度的超频，选择 Medium 选项，如下图所示：



超频设置完成后回到主配置菜单，按下 Tab 键，直到选中 <Finish> 选项，按下 Enter 键。然后再次按下 Enter 键，让系统重启。此后，系统会按照设置进入到图形界面。

树莓派使用 LXDE 图形系统，显示效果如下图所示：

