

que®

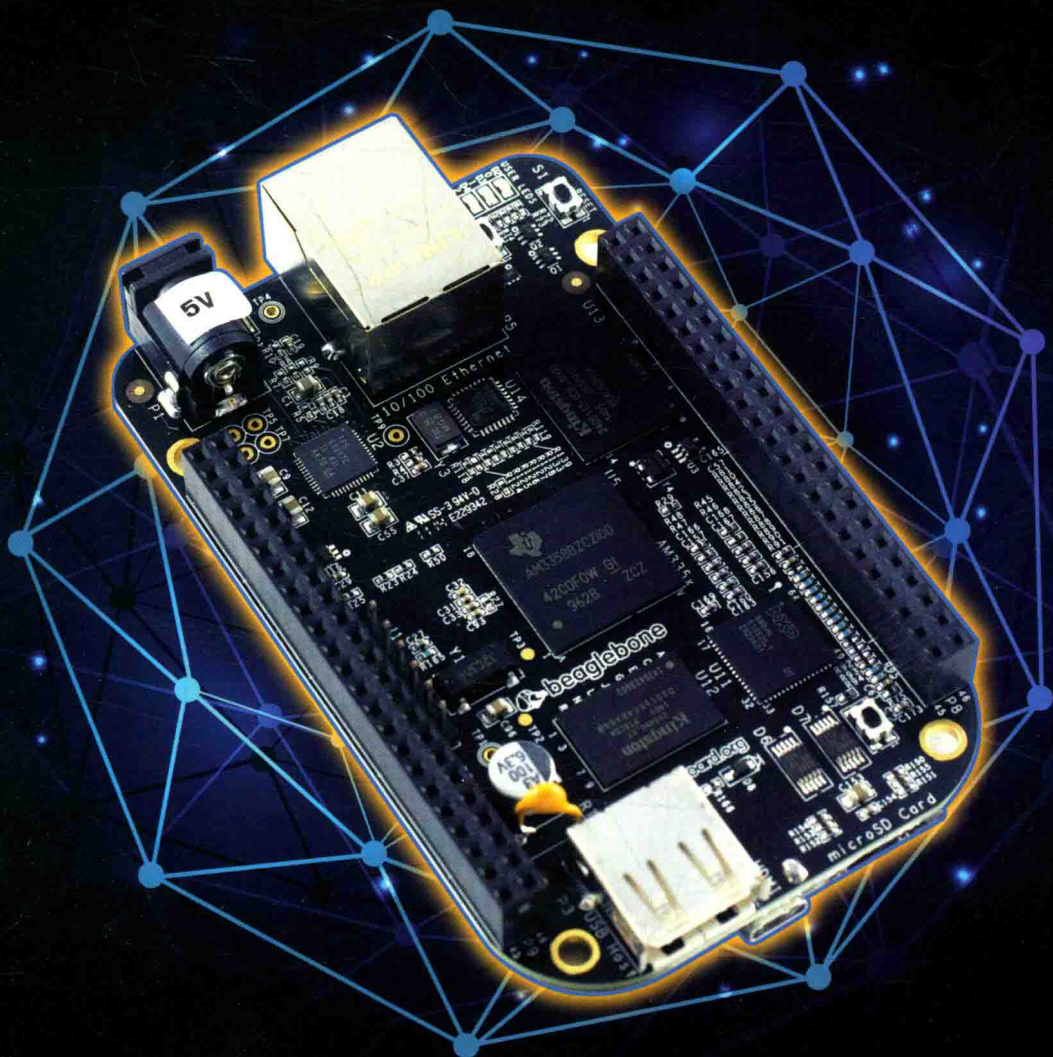
异步图书
www.epubit.com.cn

The BeagleBone Black Primer

BeagleBone Black

[美] Brian McLaughlin 著
汪庆 译

权威指南



中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

QUE®

The BeagleBone Black Primer

BeagleBone Black

[美] Brian McLaughlin 著

汪庆 译

权威指南



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

BeagleBone Black权威指南 / (美) 麦克劳克林
(Brian McLaughlin) 著 ; 汪庆译. — 北京 : 人民邮电
出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-115-43211-7

I. ①B… II. ①麦… ②汪… III. ①微处理器—系统
设计—指南 IV. ①TP332-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第195667号

版权声明

Authorized translation from the English language edition, entitled The BeagleBone Black Primer, 9780789753861, Brian McLaughlin, Copyright © 2016 Que Publishing.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Que Publishing.

本书中文简体版由 Que Publishing 公司授权人民邮电出版社独家出版。

未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有, 侵权必究。

◆ 著 [美] Brian McLaughlin

译 汪 庆

责任编辑 胡俊英

责任印制 焦志炜

◆ 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: 720×960 1/16

印张: 15.5

字数: 274 千字

2016 年 10 月第 1 版

印数: 1—2 500 册

2016 年 10 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2016-0521 号

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010) 81055410 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

内容提要

BeagleBone Black 是一款近几年刚刚诞生的开源硬件。它不仅价格低廉、可扩展性强，还可以用于开发一些商用项目。

本书全面介绍了有关 BeagleBone Black 的知识和开发技巧。全书内容共分为 15 章，第 1~5 章主要介绍了嵌入式电子产品和开发平台，第 6~8 章主要介绍了如何与硬件交互并了解了 BeagleBone Black 的操作系统，第 9~14 章主要介绍了如何运用 BeagleBone Black 开发应用，第 15 章是关于未来发展趋势的展望。

本书包含了对 BeagleBone Black 非常全面的介绍，适合开源硬件爱好者、软硬件开发人员和热衷于开源硬件比赛的学生阅读。

作者简介

Brian McLaughlin 是一名专业的电子工程师和爱好者。他本科毕业于北卡罗莱纳州立大学计算机科学与工程专业，硕士毕业于马里兰大学系统工程专业。他在参与哈勃太空望远镜项目时逐渐开始接触硬件领域的先进课题。随着时间的推移，Brian 开始为 GeekDad 写文章。目前他已经成为创客社区的一份子。现在他与漂亮的妻子和两个儿子居住在马里兰州。

谨以此书献给

妈妈和爸爸

致谢

我希望能够感谢所有教过我STEAM的人（科学、技术、工程、艺术和数学），这几乎包括了我生命中的每一个老师、辅导员、导师和同事。我要感谢哈勃太空望远镜的集成&测试&软件开发团队，那是我第一次工作的团队，在那里我理解了软硬件如何协同工作。我还要感谢我的导师们，特别是Larry Barrett和Curtis Fatig。通过他们，我得以接触到James Webb太空望远镜以及其他项目。从他们身上我学到了许多工程知识并能够在高压环境下工作，还能够周游世界和寻找生活的乐趣。另外，我还要感谢我的朋友GeekDad，他帮助我在朝九晚五的工作之外找到写技术话题的乐趣。

我还要感谢这些人和公司，包括Tektronix、Oscium、SparkFun和Element14，他们提供了本书使用的硬件和其他器件。

我想对我的邻居们表示歉意。在全职工作的同时写一本书比我预想的更加困难，因此我没有太多的时间打理我的院子和草坪。我发誓以后我会把它们整理得很好看。

当然，我还要感谢我的父母Glen和Diane以及哥哥Glen。父母总是鼓励我们去学习、探索和成长。我的哥哥除了和我分享系统，还在很多人不知道Mosaic浏览器的时候就给我展示了它。我还要感谢我的叔叔Lou，他帮助我升级电脑，确保我们时刻能够学到飞行模拟器的基本知识。我还要感谢我的父母和叔叔Lou在我7年级的时候送我到太空营（Space Camp）学习。

最后，我必须感谢我的家庭，尤其是我美丽的妻子Helene以及我的儿子Sean和Liam。如果没有他们的支持、耐心、理解 and 爱，我将无法完成这本书。

读者回馈

作为本书的读者，你们是本书最重要的批评家和评论员。我们希望能收到并且会重视你们的意见。我们想知道本书哪些地方做得比较好，哪些地方可以做得更好以及你们希望本书介绍哪方面的知识。

欢迎你们提出意见。可以通过电子邮件或写信让我们知道你们喜欢或不喜欢这本书的地方，以及怎样可以使这本书变得更好。

请注意，我们不能帮你解决与本书内容相关的技术问题。

请在给我们写邮件或信时注明书名和作者，以及你的姓名和电子邮件。我们会认真审核你的意见，并与本书的作者和编辑联系。

电子邮件：feedback@quepublishing.com

邮寄地址：Que Publishing

ATTN: Reader Feedback

800 East 96th Street

Indianapolis, IN 46240 USA

读者服务

访问我们的网站并在 quepublishing.com/register 注册本书，就可以方便地下载本书的更新内容以及查看本书的勘误表。

前言

当今世界的传统科学、技术、工程和数学（Science & Technology & Engineering & Mathematics, STEM）正在高度融合。当这种融合再与艺术结合后，就形成了STEAM（Science & Technology & Engineering & Art & Mathematics）。这是一种新的文艺复兴，就像在达芬奇年代，所有关于STEAM主题的跨领域研究都至关重要，它们往往通过某种形式的电子设备形成统一。

例如，艺术可能是一个包含机械和互动的雕塑。这个雕塑可能需要一些“感官”来感知环境的变化，这些变化包括温度变化、传统的触觉、视觉、听觉、嗅觉和味觉变化。这些变化由一些电子装置处理，然后根据变化采取一些行动。也许当你经过雕像时，它的头正在“看着”你。

一些非常技术性的工作看起来也可能类似于艺术。许多技术解决方案，比如电路板上电路的布局，一个优秀的编程解决方案，RS-25发动机，在我看来都是艺术。

本书致力于为读者提供必要的信息来寻找STEAM世界里属于自己的艺术。为此我们将使用一个非常方便和强大的开发板——BeagleBone Black。

目标读者

如果说本书面向的一部分读者是艺术领域的工作人员，那么听起来挺诡异的。但是，我知道很多艺术领域的工作者想把电子整合到自己的作品中。但对于他们来说，这项任务非常艰巨。通过阅读这本书，他们可以开始了解一些电子相关的知识，帮助他们寻找一条将艺术带向生活的道路。

另外，有些读者本身拥有丰富的电子和项目开发经验，但他们想开始使用BeagleBone Black开发项目。对于这部分读者来讲，本书的很多章节将提供有关BeagleBone Black引脚和功能的相关信息，为他们开发大型项目提供参考。

本书介绍的很多项目并没有被100%完成，它们都处于验证机阶段，离成品还有些距离，还有很多地方待完善。这是本书有意为之的。对于这些项目，读者还需要发挥自己的想象来使它们变得更加惊艳。

内容结构

在阅读本书前，读者并不需要具备专业的电子学和计算机知识，只需要熟悉传统的桌面操作系统就足够了。考虑到这一点，本书最开始几章的内容并不深奥。本书的组织结构如下。

- 第1~5章：这5章主要讲述嵌入式电子产品与开发平台。在这些章节中，读者可以学到BeagleBone Black是什么，由哪些部件构成，还可以了解到如何购买开发板，第一次启动它，等等。读者还将学到基本的电子学知识以及如何运用它们来实现自己的梦想。最后，读者将学习如何在BeagleBone Black上编程，学习一些实用的编程语言以及了解它们之间的区别。
- 第6~8章：这3章介绍如何与硬件交互以及了解BeagleBone Black的操作系统。BeagleBone Black可以运行很多操作系统，读者将学到如何为BeagleBone Black安装新的操作系统，还可以学到一些底层的硬件接口信息以及BeagleBone Black的硬件插件板生态系统（被称为插件板）。
- 第9~14章：这6章主要讲述如何运用BeagleBone Black来开发更复杂的项目。读者将学习传感器的工作原理，监控工作区域的环境，并学习如何通过电机来控制周围的物体。通过这几章的学习，读者可以给BeagleBone Black增加视觉来跟踪一个人的脸部，可以将BeagleBone Black安装在汽车里，以及通过监听飞机发出的数据来跟踪飞机。
- 第15章：本章给读者留下一些想象空间，思考之后的发展方向。本章也列举了一些网络资源供读者参考。

读者最清楚自己阅读本书之前的水平。如果在这个领域里你是一个新人，那么可能需要按照本书的章节一步步地学习来建立自己的知识系统。如果你已经很有经验，只是想学习如何运用BeagleBone Black，那么你的学习方法可能会有些区别，可以按照自己的情况和需求做出相应的调整。

体例

本书在编写过程中有一些约定。本书使用等宽字体来表示源代码和与终端的交互结果。例如：

```
print "This is a line of source code"  
~/bbb-primer/$ this is a terminal interaction
```

这里需要注意的是，源代码使用清单来统计，但终端交互并非如此。此外在终端中，用户需要输入的内容使用粗体 `mono` 字体表示。

反馈

如果读者想联系本书的作者，可以随时给作者发邮件：bjmclaughlin@gmail.com。欢迎你们为本书提供建设性和批评性的意见。

就像在许多技术课题中一样，实现一个目标的方法通常有很多种。所以如果你提出的意见只是阐述完成同一件事情的不同方法或是更有效的方法，我会在精神上认同你的观点，归档你的邮件，然后继续我的生活。请记住，本书写作时的目标是尽可能让不同水平的人都可以清晰地理解它所讲述的内容。

总而言之，我想你会喜欢这本书。我希望你看完本书之后，可以运用学到的知识去开发自己想要做的项目。

目录

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 第1章 嵌入式计算机与电子产品 | 1 |
| 1.1 嵌入式电子产品 | 1 |
| 1.2 Arduino | 5 |
| 1.3 读者将从本书学到什么 | 7 |
| 第2章 硬件介绍 | 11 |
| 2.1 BeagleBone Black 家族简介 | 11 |
| 2.2 BeagleBone Black 的硬件规格 | 15 |
| 2.2.1 处理器 | 16 |
| 2.2.2 RAM | 17 |
| 2.2.3 板载闪存与MicroSD 外置存储器 | 18 |
| 2.2.4 以太网 | 18 |
| 2.2.5 输入/输出接口 | 18 |
| 第3章 入门 | 21 |
| 3.1 设置 BeagleBone Black | 22 |
| 3.2 连接以太网 | 28 |
| 第4章 硬件基础 | 35 |
| 4.1 电子基础知识：电压、电流、功率和电阻 | 35 |
| 4.2 短路 | 39 |
| 4.2.1 电阻 | 41 |
| 4.2.2 二极管和LED | 44 |
| 4.2.3 搭建LED 电路 | 46 |
| 第5章 进一步探索 | 53 |
| 5.1 直译代码 | 53 |

| | | |
|-------------|----------------------------------|------------|
| 5.1.1 | Python——在直译语言上更进一步 | 55 |
| 5.1.2 | 用Python实现LED闪烁 | 58 |
| 5.2 | 编译代码 | 62 |
| 第6章 | 尝试其他操作系统 | 69 |
| 6.1 | Linux 历史：第1部分 | 69 |
| 6.2 | 选择一个操作系统 | 71 |
| 6.3 | 加载 microSD 卡 | 72 |
| 第7章 | 扩展硬件知识 | 79 |
| 7.1 | 二进制基础知识 | 79 |
| 7.2 | 串行通信 | 90 |
| 第8章 | 底层硬件与插件板 | 97 |
| 8.1 | Linux 设备文件系统 | 97 |
| 8.2 | 文件系统中的硬件 | 100 |
| 8.3 | 引脚复用 | 104 |
| 8.4 | 硬件配置 | 109 |
| 第9章 | 与外部世界交互 (I)：传感器 | 113 |
| 9.1 | 传感器基础知识 | 113 |
| 9.1.1 | 模拟 vs 数字 | 120 |
| 9.1.2 | 采样率 | 124 |
| 第10章 | 远程监控和数据收集 | 127 |
| 10.1 | 项目概要 | 127 |
| 10.2 | 搭建项目的电路 | 130 |
| 10.3 | 感光元件 | 134 |
| 10.4 | 发布传感器数据 | 137 |
| 10.5 | 开始收集数据 | 142 |
| 第11章 | 与外部世界交互 (II)：反馈与驱动器 | 149 |
| 11.1 | 控制电流 | 149 |

| | | |
|-------------|----------------------|------------|
| 11.2 | 调光 | 155 |
| 11.3 | 振动电机 | 159 |
| 11.4 | 伺服电机 | 161 |
| 11.5 | 步进电机 | 164 |
| 第12章 | 计算机视觉 | 171 |
| 12.1 | 连接摄像头 | 171 |
| 12.2 | 使用OpenCV库 | 178 |
| 12.3 | 优化“照相亭” | 179 |
| 12.4 | 层叠分类器 | 181 |
| 12.5 | 脸部跟踪 | 183 |
| 第13章 | 检测汽车故障 | 191 |
| 13.1 | 车载计算机 | 191 |
| 13.2 | 与车辆连接 | 193 |
| 13.3 | 读取汽车的状态 | 200 |
| 13.4 | 解释数据 | 202 |
| 第14章 | 地面控制系统 | 207 |
| 14.1 | 无线电数据 | 207 |
| 14.2 | Wi-Fi | 211 |
| 14.3 | 软件定义无线电 | 213 |
| 14.4 | 用git获取库 | 216 |
| 14.5 | 测试无线电台 | 217 |
| 14.6 | 校准电台 | 220 |
| 14.7 | 监听民航数据 | 222 |
| 14.8 | BeagleBone Black 空管站 | 224 |
| 第15章 | 展望未来 | 227 |
| 15.1 | 项目设想 | 228 |
| 15.1.1 | 便携式游戏解决方案 | 229 |
| 15.1.2 | 气象站 | 229 |
| 15.1.3 | 车载计算机 | 229 |
| 15.1.4 | 更加先进的飞机“雷达” | 230 |

| | |
|--------------------|-----|
| 15.1.5 卫星地面站 | 231 |
| 15.2 工具 | 233 |
| 15.3 资源 | 234 |

1

第1章 嵌入式计算机与电子产品

嵌入式计算机与电子产品已经存在很长一段时间了。随着小型开发平台的日益普及，越来越多的业余爱好者有能力自己构建复杂的项目。本书通过这些开发平台中的 BeagleBone Black 来介绍嵌入式系统开发。

1.1 嵌入式电子产品

你可能通过某种途径发现了本书。你或许在某个论坛中看到了采用 BeagleBone Black 的项目演示，也或者在（小型的）创客嘉年华中看到创客在他们的项目中使用了 BeagleBone Black。总体来说，BeagleBone Black 的设计目标并不是为了取代台式计算机或者笔记本电脑。相反，它被设计用来在项目中充当嵌入式计算机。嵌入式计算机是项目的特殊组成部分，它跟随项目部署的迁移而迁移。

举例来说，假设你用某个台式机或者笔记本电脑来开发一个项目。当项目完成后，你可能不再用你开发时采用的计算机来控制它，而是用其他的计算机来替代。然而对于嵌入式计算机来说，它一直都隶属于这个项目。你的项目在运行的时候可能仍需要连接其他的外部计算机或者利用其他计算机的资源，但属于该项目的嵌入式部分却是一直存在且不会被替代的。

笔记本电脑或台式计算机也可以作为一个独立的平台嵌入到某个项目中。许多机器人项目利用功能强大的笔记本电脑或台式计算机来提升其性能，如图 1.1 所示。一般来说，在嵌入式项目中，你会偏向于采用一些轻量级、便于携带和可以直接用直流供电的设备（不用非得插到墙上的插座上才可以让其工作）。也会需要可以提供大量的通用输入/输出端口（General-Purpose Input/Output，

GPIO) 的设备。这时, 就需要像 BeagleBone Black 这样的嵌入式开发平台, 它们可以适应这些应用场景。



图1.1 Parallax公司生产的机器人平台(已退役): 其嵌入式系统中包含了一台笔记本电脑

BeagleBone Black 是一个封装小巧但计算功能强大的平台。它的封装究竟有多小? 图 1.2 提供了下面几种设备的封装比较: 笔记本电脑、ATX 模板、ATX 微版和 BeagleBone Black。

需要重点注意的是, 选择小型嵌入式封装意味着已经在功耗和性能之间做了取舍。图 1.2 中其他尺寸的设备都可以支持最高端的(至少在写作本书时)英特尔 i7 处理器。这些处理器可以很好地运行在主频 3GHz 之上, 并支持访问大容量 RAM。如果不确定这些意味着什么, 那么可参考下面一些经验法则。

- 计算机内部的时钟用于协调处理器内部行为发生的速度。时钟（主频）越快（以周期/秒衡量），计算机每秒可以执行的指令就越多。
- RAM，即随机存取存储器（Random Access Memory），是程序执行时存储变量和其他信息的地方。因此RAM越大，程序就有越多的运行空间。如果一个正在运行的程序消耗了所有分配给它的空间，那么在好的情况下，程序的一部分数据会被缓存到比RAM慢得多的硬盘中去；而在坏的情况下，程序将停止工作。

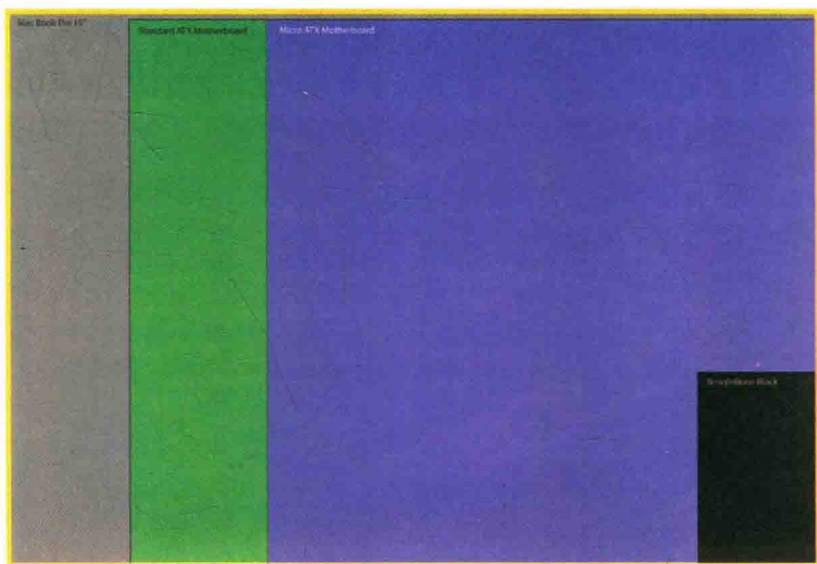


图1.2 封装大小比较：笔记本电脑、ATX模板、ATX微版和BeagleBone Black

表1.1列举了笔记本电脑、台式计算机和BeagleBone Black之间的一些规格参数的比较。

表1.1 笔记本电脑、台式计算机和BeagleBone Black的规格参数比较

| | 体积/ (cm^3) | CPU/ (个) | 主频/ (GHz) | RAM/ (GB) | 重量/ (kg) | 功耗 (W) |
|------------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-----------|
| MacBook Pro 15" | 1606 | 4 | 2.0 | 8 | 2.02 | 85 |
| ASUS Core i7 | 26055 | 4 | 3.1 | 8 | 7.89 | 100 |
| BeagleBone Black | 21 | 1 | 1 | 0.5 | 0.04 | 5 |

从表1.1中可以清楚地看到，BeagleBone Black不能用来代替任何当前主流的计算平台。然而，想象一下自己开发项目，如本书即将介绍的飞机监控系统。这个监控系统