

Embedded Android



构建嵌入式 Android系统

O'REILLY®
中国电力出版社

Karim Yaghmour 著
秦云川 肖淇 译

构建嵌入式 Android 系统

Karim Yaghmour 著

秦云川 肖淇 译

O'REILLY®

Beijing • Cambridge • Farnham • Köln • Sebastopol • Tokyo

O'Reilly Media, Inc. 授权中国电力出版社出版

中国电力出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

构建嵌入式 Android 系统 / (美) 亚荷毛尔 (Yaghmour, K.) 著; 秦云川, 肖淇译.
—北京: 中国电力出版社, 2015.6

书名原文: Embedded Android

ISBN 978-7-5123-7372-3

I. ①构… II. ①亚… ②秦… ③肖… III. ①移动终端—应用程序—程序设计

IV. ① TN929.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 050072 号

北京市版权局著作权合同登记

图字: 01-2014-5258 号

©2013 by O'Reilly Media, Inc.

Simplified Chinese Edition, jointly published by O'Reilly Media, Inc. and China Electric Power Press, 2015.
Authorized translation of the English edition, 2013 O'Reilly Media, Inc., the owner of all rights to publish and sell the same.

All rights reserved including the rights of reproduction in whole or in part in any form.

英文原版由 O'Reilly Media, Inc. 出版 2013。

简体中文版由中国电力出版社出版 2015。英文原版的翻译得到 O'Reilly Media, Inc. 的授权。此简体中文版的出版和销售得到出版权和销售权的所有者——O'Reilly Media, Inc. 的许可。

版权所有, 未得书面许可, 本书的任何部分和全部不得以任何形式重制。

封面设计 / Randy Comer, 张健

出版发行 / 中国电力出版社 (<http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

地 址 / 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

经 销 / 全国新华书店

印 刷 / 北京丰源印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 980 毫米 16 开本 23.75 印张 452 千字

版 次 / 2015 年 6 月第一版 2015 年 6 月第一次印刷

印 数 / 0001 - 3000 册

定 价 / 68.00 元 (册)

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

对本书的赞誉

“对于想要创建一个基于 Android 系统的人来说，这是一本权威书籍。如果你没有在谷歌工作，并且正在使用底层的 Android 接口，那么你需要这本书。”

——Greg Kroah-Hartman，核心的 Linux 内核开发者

“如果你或你的团队正在致力于创建定制的 Android 镜像、设备或 ROM，那么你一定会想要这本书！除了源代码本身，关于 Android 是如何工作的，Android 是如何构建系统的，以及有关 Android 是如何集成总体视图，你会发现本书是唯一解释这些问题的地方。我特别喜欢关于构建系统和 Android 框架的几个章节（4、6 和 7），那里有很多从 AOSP 源代码中挖掘的信息，这是很难进行反向工程的。本书将为你和你的团队节省大量的时间。我希望在我们的团队两年前开始研究冷冻酸奶版本的 Android 的时候，就能拥有它。对于工作在用于英特尔参考手机的 Intel Android 堆栈的新团队成员来说，这本书将会成为他们的必读物。”

——Mark Gross，Android/Linux 内核架构师，
平台系统集成部 / 移动与通信事业群 / 英特尔公司

“Karim 有条不紊地写出了很多对嵌入式系统开发人员来说的 Android 的未解之谜。对于工作在所有类型的设备，不仅仅是定制手机和平板电脑的开源软件项目的人来说，本书绝对是一本实战宝典。我个人很高兴看到有这么多提供在经济实惠的硬件，即 BeagleBone 上的例子，而不仅仅只是在仿真器上。”

——Jason Kridner，Sitara 软件架构经理，
德州仪器公司以及 BeagleBoard.org 的创始人之一

“这本书所包含的内容，是我的工程师以前需要数百个小时才能发现的信息。对于所有想要加入我的团队做关于 Android 方面的新成员来说，这本书是他们的必读物。”

——Mark Micire 博士，空间和移动机器人领域的研究人员，卡耐基梅隆大学

“多亏了这本书，从事嵌入式系统开发的开发人员第一次可以应用这个开放的垂直整合堆栈，它包含他们构建基于 Linux 的稳定、高效产品的所有东西。Android 革命性的执行模型跨越了手机和平板电脑，其应用程序开发平台在行业特点和发展速度上是无与伦比的。这本书将会给开发人员提供宝贵资源，用于了解应用层和内核的所有东西，以及告诉开发人员如何扩展和改变一些东西来定制各种各样的 Android。”

——Zach Pfeffer, Linaro 公司 Android 团队的技术主管

“最后，这是一本从系统的角度来介绍 Android 平台的书！目前有大量关于创建 Android 应用程序的书籍，但很久没有一本单一的、全面的资源来介绍 Android 的内部信息。在本书中，Karim 已经收集了大量的资料，对于 Android 系统的程序员和集成商（虽然，可以肯定的是，应用程序开发人员来阅读本书也将受益）来说，这些都是很有必要且有很大帮助的。Karim 从他关于 Android 的丰富的经验和分析中，收集了丰富的例子、引用和解释。希望我曾经在索尼工作的时候，在学习 Android 的艰辛之路上时就能够拥有这本书。有了这本书，我可以节省自己几个月用于学习 Android 的来龙去脉的时间。毫无疑问，这将是近几年来对 Android 系统开发人员来说重要的参考书。”

——Tim Bird, 索尼娱乐网络副主任工程师，
Linux 基金会的 CE 工作组体系结构组主席

“Karim 的书是那些希望进入基于 Android 的嵌入式项目及产品新兴领域的人的优秀导游。本书涵盖了从内核支持直至许可和商标问题的全部范围，也包括在“无领导”模式下运行 Android 系统的信息。这本书值得在每一个严谨的嵌入式 Android 开发者的书架上占有一席之地。”

——Paul E. McKenney, IBM 的杰出工程师，Linux 内核 RCU 维护者

“虽然 Android 通常是手机和平板电脑领域而设计的，但它毫无疑问地考虑到了很多其他的产品领域，如汽车、类似 HMI 的 UI 面板、可穿戴的小设备等。强烈推荐这本书，因为它涵盖了所有必要的基础知识和概念，帮助开发者接触和研发基于 Android 的针对移动和非移动产品部分的解决方案。”

——Khasim Syed Mohammed, 德州仪器首席工程师

“这是一本伟大的书，不仅仅对于嵌入式 Android 开发人员来说是这样，对于那些要学习 Java 接口以下布线的 Android 应用程序开发者来说也是如此。”

——Lars Vogel, Vogella GmbH 公司的 CEO

“再一次，Karim 击中了我们的要害。如果你有兴趣将 Android 移植到一个新的设备上或者只是对 Android 是如何运行在一个硬件上的关键部分有兴趣，这一本书就是你一直在寻找的书。这本书将引导你完成所有包括构建环境启动，获取 AOSP 资源，增加你的硬件到 Android 源代码中，以及在你的硬件上部署一个新的 Android 的方方面面。它讨论了 Android 的基础，包括 HAL 以及如何使你的定制硬件得到 Android 的框架的支持。总之，对于所有关于 Android 的书来说，这是一本针对 Android 设备制造商，而不是 Android 应用程序开发人员或最终用户的书。我只是希望在我第一次接触 Android 的移植的时候，这本书就已经面世了。这可能会节约我几个月的时间来进行试验和错误尝试。”

——Mike Anderson, PTR 集团公司首席科学家

“本书已经是我们的一个很好的资源。当我们移植 Android 到新的硬件或在一个较低的水平整合新的功能时，这是一本必备的书。Karim 是一个伟大的指导者，他的写作很好地体现了他的风格。”

——Jim Steele, 传感器平台的工程副总裁

“本书对于那些想要认真研究 Android 内部结构以及在一个新平台上构建 Android 的人来说，是一本不可不看的书。它有助于指导你有关扩展的 AOSP 代码库，并了解整体架构和系统的设计。”

——Balwinder Kaur, Aptina 图像的高级会员，技术人员

“所以，你以为你了解关于 Android 的内部结构？好了，再想想！逐章看完后，你会发现其幕后还有什么，以及为什么 Android 不仅仅只是一个嵌入式 Linux 发行版。让自己准备好进入一个漩涡，因为本书对于每一个希望成为厉害的谷歌操作系统的黑客的人来说，就是一座金矿。”

——Benjamin Zores, Alcatel-Lucent 公司的 Android 平台架构师

“这本书肯定是关于 Android 系统堆栈的最有价值和最完整的资源之一。对于每一个 Android 系统工程师来说是一本必读物。”

——Maxime Ripard, Free Electrons 公司的 Android 的领导者

“当我接到一块运行 Linux 的开发板，并且被告知‘在上面运行一个 Android’的时候，想要找到有关如何在一个新设备上移植 Android 有关的更多信息，这是非常困难的。幸运的是，当我开始研究这个问题的同时，本书面世了。什么是救星！本书给了我很多指导，即我需要了解 Android 的基础，需要做什么来将 Android 移植到一个新的硬件上去。我喜欢这本书所有的细节和背景，从引导序列到构建系统。在读完了本书之后，我觉得我对 Android 以及它是如何与 Linux 内核交互的有了更好的理解。”

——Casey Anderson, Trendril 的嵌入式系统架构师

O'Reilly Media, Inc.介绍

O'Reilly Media通过图书、杂志、在线服务、调查研究和会议等方式传播创新知识。自1978年开始，O'Reilly一直都是前沿发展的见证者和推动者。超级极客们正在开创着未来，而我们关注真正重要的技术趋势——通过放大那些“细微的信号”来刺激社会对新科技的应用。作为技术社区中活跃的参与者，O'Reilly的发展充满了对创新的倡导、创造和发扬光大。

O'Reilly为软件开发人员带来革命性的“动物书”；创建第一个商业网站（GNN）；组织了影响深远的开放源代码峰会，以至于开源软件运动以此命名；创立了Make杂志，从而成为DIY革命的主要先锋；公司一如既往地通过多种形式缔结信息与人的纽带。O'Reilly的会议和峰会集聚了众多超级极客和高瞻远瞩的商业领袖，共同描绘出开创新产业的革命性思想。作为技术人士获取信息的选择，O'Reilly现在还将先锋专家的知识传递给普通的计算机用户。无论是通过书籍出版，在线服务或者面授课程，每一项O'Reilly的产品都反映了公司不可动摇的理念——信息是激发创新的力量。

业界评论

“O'Reilly Radar博客有口皆碑。”

——Wired

“O'Reilly凭借一系列（真希望当初我也想到了）非凡想法建立了数百万美元的业务。”

——Business 2.0

“O'Reilly Conference是聚集关键思想领袖的绝对典范。”

——CRN

“一本O'Reilly的书就代表一个有用、有前途、需要学习的主题。”

——Irish Times

“Tim是位特立独行的商人，他不光放眼于最长远、最广阔的视野并且切实地按照Yogi Berra的建议去做了：‘如果你在路上遇到岔路口，走小路（岔路）。’回顾过去Tim似乎每一次都选择了小路，而且有几次都是一闪即逝的机会，尽管大路也不错。”

——Linux Journal

致Anais、Thomas和Vincent。

愿你们的人生旅程中充满了分享与发现的喜悦。

目录

前言	1
第1章 概述	11
历史	11
特点和特征	12
开发模型	15
生态系统	17
获取“Android”	19
法律框架	20
硬件与合规性要求	27
开发工具及其环境搭建	31
第2章 内部结构入门	33
应用程序开发者的观点	33
整体架构	41
Linux内核	42
硬件支持	53
原生用户空间程序	59
Dalvik以及Android上的Java	67
系统服务	70
常见的AOSP包	77

第3章 AOSP入门	84
开发主机设置	84
下载AOSP	85
AOSP的内部	91
构建的基础知识	96
运行Android	104
使用Android调试工具 (ADB)	106
掌握模拟器的使用	110
第4章 构建系统	115
与其他构建系统的比较	115
体系结构	117
构建脚本	138
基本的AOSP修改技巧	147
第5章 硬件基础	158
典型的系统架构	158
片上系统中有什么?	164
内存布局与映射	167
评估板	172
第6章 本地用户空间	176
文件系统	176
Android的命令行	209
初始化	229
第7章 Android框架	250
Framework入门	251
工具和命令	266
支持守护进程	296
硬件抽象层	303

附录A 传统的用户空间	305
附录B 为新硬件增加支持	320
附录C 默认包列表的定制	332
附录D 默认的init.rc文件	335
附录E 资源.....	358

前言

Android 的增长是显而易见的。在一个很短的时间内，它已经成功地成为市场上最顶尖的移动平台之一。显然，开源许可、积极走向市场以及时尚界面的独特组合，是 Google 公司的 Android 团队的成果。毫无疑问，Android 产生了如此大的用户量，使得手机厂商、移动通信网络运营商、芯片厂商以及应用开发人员都不能无视它。基于 Android 以及与 Android 兼容的产品、应用和设备正以前所未有的速度繁荣起来。

除了其在移动领域的成功以外，Android 也同样引起了另一个群体的注意——嵌入式系统开发者。虽然大多数嵌入式系统设备很少甚至没有用户界面，但是还是有很多传统“嵌入式”设备确实是有用户界面的。现在有很多机器除了有纯粹的功能以外，开发者还要为用户操作提供人机交互界面。所以，设计人员要么为用户提供一种其熟悉的界面体验，要么冒险为用户提供一种不熟悉甚至是全新的界面风格。在 Android 以前，可供这种设备开发人员选择的用户界面非常有限。

很明显，嵌入式系统开发人员更希望为用户提供一种更熟悉的界面体验。虽然以前可能是基于窗口的风格，所以很多嵌入式设备采用类似桌面或者基于桌面窗口风格的用户接口，但现在苹果的 iOS 和 Google 的 Android 展示了一种基于触摸的类似 iPhone 的图形接口。这种界面风格的变化，以及 Android 开放源代码的授权，使得很多人希望将它应用于嵌入式系统中。

与 Android 应用程序开发者不同，任何希望对 Android 框架开展工作的开发人员，不管是嵌入式系统移植还是修改 Android 框架的工程师，都会发现根本没有任何文档来阐述应该如何开展工作。对于应用开发者来说，有 Google 提供的在线文档可供参考，有大量的书籍可供学习，例如 O'Reilly 的《Learning Android》，但是对嵌入式系统

开发者来说，只能参考 Google 在 <http://source.android.com> 上面的很少的一点文档。那些想在系统中使用 Android 的嵌入式系统开发者只能从阅读 Android 的源代码开始。

本书的目的是想改变这种情况，使得你能够将 Android 嵌入到你的任何设备中。所以，你将会学习 Android 架构、浏览源码和修改各组件的方法，你将明白如何为你的设备创建你自己的版本。而且，你还会知道 Android 是如何集成 Linux 内核，以及如何利用 Android 的 Linux 特性。例如，我们会讨论如何将 glibc 和 Busybox 等传统 Linux 组件打包到 Android 中。另外，你还会学习到很多日常使用的技巧，例如 Android 的 repo 工具以及集成 / 修改 Android 的构建系统。

初识 Android

我从 20 世纪 90 年代中期就开始接触开源软件，很幸运地在它成为一种强势的软件运动之前就已开始对它进行研究，并且见证了其在 2000 年左右的迅速崛起。我在开源社区中做出了自己的贡献，当然也不能免俗地参与到很多口水战中。我之前还写过《构建嵌入式 Linux 系统》（O'Reilly 公司出版）。

所以当这个基于 Linux 的 Android 系统开始流行的时候，基于我对 Linux 历史和嵌入式 Linux 系统的认识，我意识到它很值得我进行投入。当时，我曾天真地以为：“我对 Linux 系统非常了解，而 Android 系统又是基于 Linux 的，那么对我来说它能难到哪里去？”直到真正地深入去了解 Android 的时候发现我错了，Android 就是不一样。我所知道的那些 Linux 知识以及嵌入式系统中常用的那些软件包很少在 Android 中遇到，而且就连 Android 对硬件适配所采用的抽象方式都觉得很怪异。

我花了很长时间（而且现在还在追寻）来搞清楚这些问题。例如，Android 是如何工作的？它跟普通的 Linux 有什么不同？如何对它进行定制？如何把它应用于嵌入式系统？如何编译构建它？应用程序 API 是如何转换成我所熟知的 Linux 用户空间接口的？诸如此类。而且我发现对 Android 学习得越深入，问题就越多。

我学习 Android 系统的第一件事就是到 <http://developer.android.com> 和 <http://source.android.com> 去打印所有我可以找到的内容，留做开发者 API 参考手册，结果打印出来的纸堆起来差不多就有 8 到 10 英尺高。我通读了这些材料，对重要的段落做了大量标注，结果得到了一个我无法回答的问题列表。同时，我又开始研究 Android 开放源码项目（AOSP）给出的源代码。老实说，我花了差不多 6 ~ 12 个月才对 AOSP 源码结构有了感觉。

你看到的这本书可以看作是我在 Android 上所做工作的一个总结，包括我所参与的一些项目，例如帮助各种开发团队对他们的嵌入式系统设计定制 Android 系统。但是，这本书绝不是我对 Android 了解的全部。关于 Android 及其内部机制还有太多东西本书没有涉及，也无法全部涉及，不过它却可以是满足你的需要而对 Android 系统进行定制的一个开始。

本书的读者对象

本书主要针对想基于 Android 系统开发嵌入式系统的开发者，或者想把 Android 定制后用于特定用途的开发人员。本书假设你对嵌入式系统开发有所了解，并且至少知道 Linux 的基本工作机制以及命令行交互方式。

我并不假设你懂得 Java，并且对定制 Android 的大部分任务你根本无需要懂 Java。当然，当你的工作在 Android 环境中开展以后，你会发现一定程度地熟悉 Java 还是很有必要的。实际上，大部分 Android 的核心部分是采用 Java 开发的，所以为了增加需要的功能，你可能需要学习这门语言。

本书不会教你如何进行 App 开发或者 Java 编程，如果你对这些问题感兴趣，我建议你找一下其他资料，这样的书籍已经有很多了。本书也不讲述嵌入式系统，这个题材的书也已经有很多了。最后，本书也不是关于嵌入式 Linux 的，这个题材也有关于它的很多书籍。不过，熟悉在嵌入式系统中使用 Linux 会有助于学习 Android。实际上，Android 很多东西是从传统的“嵌入式 Linux”中演化而来的，创建嵌入式 Linux 系统的很多技术能引导或者帮助你构建嵌入式 Android 系统。

如果你对于了解 Android 的内部结构也有兴趣的话，这本书也将对你有帮助。事实上，定制一个在嵌入式系统中使用的 Android，需要至少知道一些关于它的内部结构的基础知识。因此，尽管关于探讨解释 Android 的源代码的讨论没有走向深入，本书的解释还是深入地展示了 Android 栈的各个部分是如何交互的。

本书的组织结构

像许多其他的主题一样，这本书复杂性也是循序渐进的，以前面章节的内容作为之后章节的背景材料。如果你是一名管理者，只是想要抓住其中的要领，或者如果你想知道哪些章节是在你能够开始跳过章节及有选择性地阅读材料的章节前你要通读的，我建议你至少要读前三个章节。这并不意味着其他的都是不相关的，只是之后的内容更模块化。

第1章概述，涵盖了你应该知道的关于在嵌入式系统中 Android 的使用的一般内容，比如它来自哪里，它的发展模式是怎样的，它区别于传统的开源项目的许可，以及运行 Android 需要的硬件类型。

第2章内部结构入门，深入挖掘 Android 的内部结构以及阐述它主要的抽象结构。我们首先介绍了应用程序开发人员都习惯了的应用程序开发模型，然后介绍了 Android 专用的内核修改、怎么将硬件支持加到 Android 上、Android 本地用户空间、Dalvik、系统服务器，以及系统启动的整体概况。

第3章 AOSP 入门，说明了怎样从谷歌上获取 Android 的源代码，如何将其编译成一个功能性的仿真器镜像，以及如何运行该镜像并 shell 进去。使用仿真器是一种简单的探索 Android 的基础，而无需实际硬件的方式。

第4章构建系统，提供关于 Android 构建系统的详细说明。事实上，与大多数开源项目不同，Android 的构建系统是非递归的。本章介绍了 Android 构建系统的体系结构，它通常在 AOSP 内是如何使用的，以及如何将自己的修改添加到 AOSP 中。

第5章硬件基础，介绍了 Android 设计所针对的硬件类型。这覆盖了通常使用 Android 的系统级芯片（SoC），典型的 Android 系统内存布局，Android 使用的典型的开发环境设置，以及一些你可以很容易地使用于嵌入式 Android 系统原型上的开发评估板。

第6章本地用户空间，包含根文件系统布局、adb 工具、Android 的命令行，以及它的自定义的 init。

第7章 Android 框架，讨论了 Android 框架是如何启动的，与之进行交互的工具和命令，以及支持它正常运行所需要的守护进程。

附录 A 传统的用户空间，解释了如何获得“嵌入式 Linux”软件传统堆栈，来与 Android 的用户空间共存。

附录 B 为新硬件增加支持，向你展示如何扩展 Android 栈以增加对新的硬件的支持。这包括如何增加一个新的系统服务，以及如何扩展 Android 的硬件抽象层（HAL）。

附录 C 默认包列表的定制，为你提供指导，以帮助你了解自定义默认包含在 AOSP 生成的镜像中的是什么。

附录 D 默认的 init.rc 文件，包含了一组关于版本 2.3/ 姜饼和版本 4.2/ 果冻豆使用的默认 init.rc 文件的备注。

附录 E 资源，列出了一系列你可以找得到的有用的资源，比如说网站、邮件列表、书籍和活动。

软件版本

如果当你拿起这本书时，你可能还没意识到，我们在这里提到的版本很可能落后于当前的 Android 版本。而且有可能这种情况会永远向前。其实，我并不指望这本书的任何版本能够适用 Android 的最新版本。原因很简单：Android 的发布每六个月进行一次。我花了将近两年的时间来写这本书，并由过去的经验得知，不管怎样也需要至少六个月到一年的时间，来更新现有标题使它涵盖软件的最新版本。

所以，要么你立即停止阅读并马上退回这本书，要么你继续阅读下去，并找到一个关于如何最好的使用这本书的有说服力的解释，尽管它几乎可以保证已经过时了。

尽管它有非常快速的发布周期，Android 的内部架构和用于构建它的程序仍然是自推出以来，大约五年了都几乎没有变化。因此，尽管这本书最初写的是版本 2.3/ 姜饼，它一直相对简单地进行一些更新，也包括了版本 4.2/ 果冻豆以及对其他版本的参考，有需要的时候还包括了 4.0/ 冰淇淋三明治和 4.1/ 果冻豆。因此，虽然新的版本添加了新的功能，并且许多我们在这里讨论的软件组件将在下一个新版本中变得更丰富，但基本程序和机制很可能仍然能够在相当一段时间内适用。

因此，你尽管可以放心，我承诺将继续关注 Android 的开发并力所能及的经常更新，你也应该能够从这本书中包含的解释中得到收获，以用在好几个版本中而不仅仅是提到的最后一个版本。

实际上有些人期望版本 2.3/ 姜饼能够在市面上很长一段时间，因为它对硬件的要求比之后的更高版本更加温和。例如，在 2012 年 12 月的 AnDevCon IV 发布会上，从 Facebook 来的大会发言人解释说，预计将继续支持其运行在 2.3/ 姜饼的设备上的应用程序很长一段时间，因为该版本能够运行在比最近版本更廉价的硬件上。

本书的约定

本书使用了下列印刷约定：

斜体 (*Italic*)

表示新的术语、URL、邮件地址、文件名以及文件扩展。