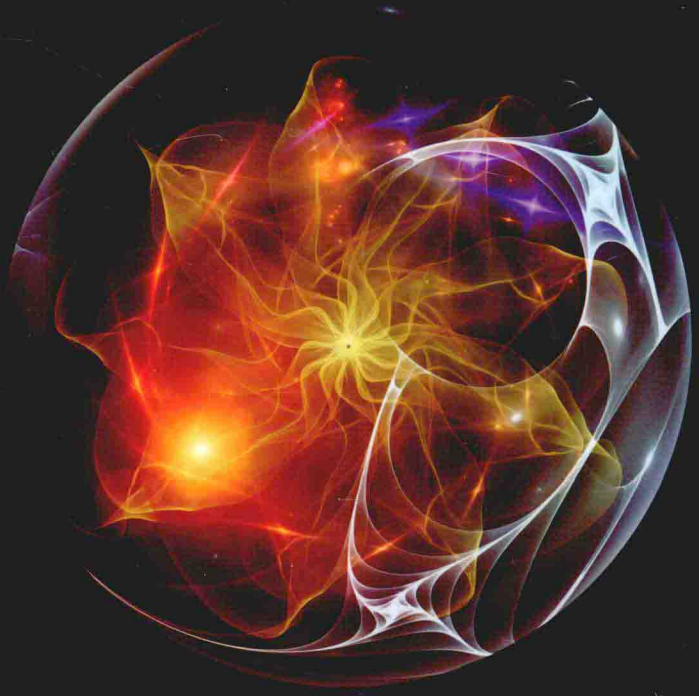
基于Android 4.3以上版本

- 全面细致地剖析了进程/线程模型、内存管理、Binder机制、GUI显示系统、多媒体管理、输入系统等核心模块在Android操作系统中的设计思想
- 通过大量图片与实例引导读者学习，以求尽量在源码分析外，为读者提供更易于理解的思维路径
- 由浅入深，由总体框架再到细节实现，让读者在学习中潜移默化地彻底理解Android内核的实现原理

深入理解
Android内核设计思想

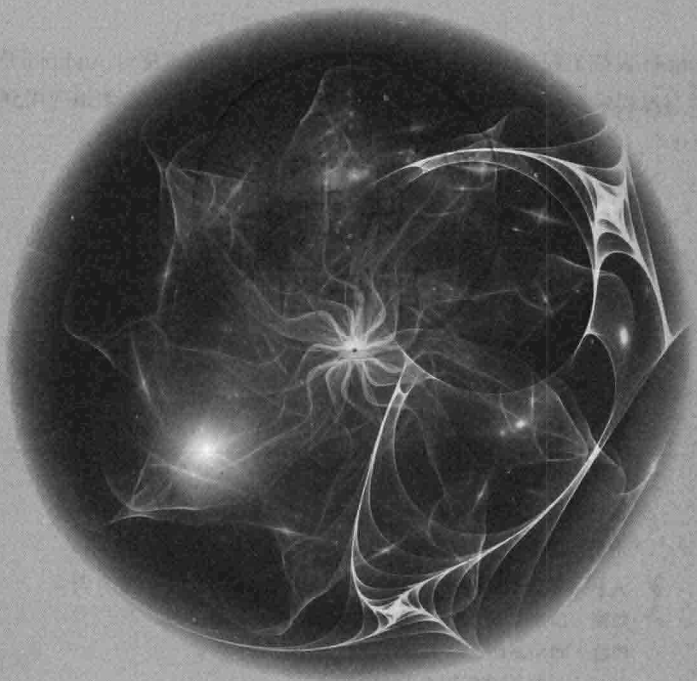
林学森 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

深入理解
Android内核设计思想

林学森 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目（CIP）数据

深入理解Android内核设计思想 / 林学森编著. —
北京 : 人民邮电出版社, 2014.5
ISBN 978-7-115-34841-8

Ⅰ. ①深… Ⅱ. ①林… Ⅲ. ①移动终端－应用程序－
程序设计 Ⅳ. ①TN929.53

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第046163号

内 容 提 要

本书适用于 Android 4.3 以上的版本。全书从操作系统的基础知识入手，全面剖析进程/线程、内存管理、Binder 机制、GUI 显示系统、多媒体管理、输入系统等核心技术在 Android 中的实现原理。书中讲述的知识点大部分来源于工程项目研发，因而具有较强的实用性，希望可以让读者“知其然，更知其所以然”。全书分为编译篇、系统原理篇、应用原理篇、系统工具篇共 4 篇 22 章，基本涵盖了参与 Android 开发所需具备的知识，并通过大量图片与实例来引导读者学习，以求尽量在源代码分析外为读者提供更易于理解的思维方式。

本书既适合 Android 系统工程师，也适合于应用开发工程师来阅读提升 Android 开发能力。读者可以在本书潜移默化的学习过程中更深刻地理解 Android 系统，并将所学知识自然地应用到实际开发难题的解决中。

◆ 编　　著　林学森
责任编辑　张　涛
责任印制　彭志环　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
北京铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：43.75
字数：1217 千字　　2014 年 5 月第 1 版
印数：1－3 500 册　　2014 年 5 月北京第 1 次印刷

定价：108.00 元

读者服务热线：(010)81055410　印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315

前　言

写本书的原因

4 次大幅改版，N 次修订，前后历时近 3 年，本书终于要与读者见面了。

在这 3 年的时间里，Android 系统不断更新换代，书本内容也尽可能紧随其步伐——我们总是会在第一时间下载到工程源码，然后系统性地比对和研究每次改版后的差异。可以说本书伴随着 Android 的高速发展，完整地见证了它给大家带来的一次又一次惊喜。

在这么长的写作跨度中，有一个问题始终萦绕在我的脑海中，即“为什么写这本书”？

市面上讲解操作系统的著作很多，主要风格有两种。

- 理论型

高校中采用的操作系统教材多数属于这种类型。它们主要阐述通用的计算机理论与原理，一般不会针对某个具体的操作系统做详细剖析。这类书籍是我们进入计算机科学的“敲门砖”。只有基础打得扎实，研究市面上任何一款操作系统才能做到“有的放矢”。

- 实用型

这类书籍以讲解某个具体的操作系统为主，如市面上就有非常多的关于 Windows 和 Linux 系统的。前者因为不开源，谁也不可能深入代码级别进行讲解；而后者则恰恰相反，任何人都能轻松获取到完整的内核源码。在 Linux 之父经典名言“Read the f***king Source Code”的鼓励下，无数有志之士投入到“代码汪洋”的分析中，从中细细感受大师们的设计艺术。

那么本书属于什么类型呢？个人认为更贴切地说，就是上面两种的结合。

本书的一个主要宗旨是希望读者可以由浅入深地逐步理解 Android 系统的方方面面。因而在每章节内容的编排上，采用由整体到局部的线索铺展开来——先让读者有一个直观感性的认识，明白“是什么”、“有什么用”，然后才剖析“如何做到的”。这样的一个好处是读者在学习过程中不容易产生困惑；否则如果直接切入原理，长篇大论地分析代码，仅一大堆函数调用就可能让人失去学习的方向。这样的结果往往是，读者花了非常多的时间来理清函数关系，但始终不明白代码编写者的意图，甚至连这些函数想实现什么功能都无法完全理解。

本书希望可以从更高的层次，即抽象的、反映设计者思想的角度去理解系统。而在思考的过程中，大部分情况下我们都将从读者容易理解的基础知识开始讲起。就好比画一张素描一样——先给出一张白纸，勾勒出整体框架，然后针对重点部位细细加工，最后才能还原出完整的画面。另外，本书在对系统原理本身进行讲解的同时，也最大程度地结合工程项目中可能遇到的难点，理论联系实际地进行解析。希望这样的方式既能让读者真正学习到 Android 系统的设计思想，也能学有所用，增加一些实际的项目开发经验和技巧。

本书的主要内容

细心的读者会发现本书章节中包含了“Android 和 OpenGL ES”、“信息安全基础概述”等看似与本书无关的内容——有些人可能会产生疑问，是否有此必要？

根据我们多年的 Android 项目开发和培训经验，答案就是“非常有必要”。举个例子，Android

的显示系统是围绕 OpenGL ES 来展开的，后者是它的“根基”。但另外，并非所有开发人员都深谙 OpenGL ES。这样导致的结果就是他们在学习显示系统的过程中，有一种“四处碰壁”的感觉——实践证明，正是这些因素直接打击到了大家学习 Android 系统的信心。

因此，我们在讲解系统实现原理之前，会最大程度地为读者提炼出所需的背景知识。有了这样的铺垫，相信对大家学习 Android 内核大有裨益。

本书在内容选择上依据的是“研发人员（包括系统开发和应用程序开发）参与实际 Android 项目所需具备的知识”，因而具有较强的实用性。全书共分为 4 篇，涵盖了编译、系统原理、应用原理和系统工具等多个方面。

其中第一篇不仅详细介绍了 Android 源码的下载及编译过程，为读者呈现了“Hello World”式的入门向导——更为重要的是，结合编译系统的架构和内部原理，为各厂家定制自己的 Android 产品提供了参考范例。

Android 本质上只是市面上众多主流的操作系统之一。所以在系统原理的讲解过程中，我们将首先引导读者从计算机体系结构、经典的操作系统理论（比如进程/线程管理、进程间通信等）的角度来思考问题——包括 Android 在内的任何操作系统内核在实现过程中都“逃”不出这些经典的理论范畴。本书虽然是剖析 Android 系统的，但更希望读者可以从中学到“渔”，而不仅仅是“鱼”。

从动态运行的角度来理解，Android 内核是由众多系统服务组成的，如 ActivityManagerService、GUI 系统中的 SurfaceFlinger、音频系统中的 AudioFlinger、输入系统 InputManagerService 等。而各服务之间通信的基础就是 Binder 机制。本书在阐述它们错综复杂的关系中，遵循由“整体到局部”、“由点及面”的科学方法，将知识点深入浅出地铺展开来，希望为读者全面理解 Android 内核提供“思维捷径”。

与其他讲解 Android 应用程序的书籍不同，本书在分析 APK 应用程序时的立足点是它的内部实现原理。如 Intent 匹配规则、应用程序的资源适配过程、字符编码的处理、Widget 机制、应用程序的编译打包等都是应用开发人员在工作中经常会遇到的难题。通过系统性地解析隐藏在这些实现背后的原理，有助于他们彻底摆脱困惑，加深对应用开发的理解。

不论是系统工程师还是应用开发人员，Android 调试工具都至关重要。但我们在实际工作中发现，不少研发人员对这些工具“只知其一，不知其二”。因而系统工具篇中将针对常用调试工具进行全面解析，希望由此可以让大家学习到如何“举一反三”，真正把它们的作用发挥得“淋漓尽致”。

本书的主要特点

（1）通过大量情景图片与实例引导读者学习，以求尽量在源码分析外为读者提供更易于理解的思维路径。

（2）作者在展开一个话题时，通常会由浅入深、由总体框架再到细节实现。这样可以保证读者能跟得上分析的节奏，并且“有根有据可循”，尽可能防止部分读者阅读技术书籍时“看了后面忘了前面”的现象。

（3）目前市面上不少 Android 书籍仍停留在 Android 2.3 或者更早期的版本。虽然原理类似，但对于开发人员来说，他们需要与项目研发相契合的技术书籍。本书希望尽可能紧随 Android 的更新步伐，为读者了解最新的 Android 技术提供帮助。

（4）本书的出发点仍是操作系统的经典原理，并以此为根基扩展分析 Android 中的具体实现机制——贯穿其中的是经久不衰的理论知识。

（5）本书所阐述的知识点大部分来源于工程项目研发的经验总结，因而具有较强的实用性，希望可以让读者“知其然，更知其所以然”。做到真正贴近读者，贴近开发需求。

致谢

感谢王益民董事长、钟宝英女士长期以来的关心、信任和支持——你们在很多方面都是我们学习的楷模。衷心祝愿王总的企业蒸蒸日上、更创辉煌；衷心祝愿钟小姐事事顺心如意、永葆青春。

感谢人民邮电出版社的编辑，你们的专业态度和处理问题的人性化，是所有作者的“福音”。

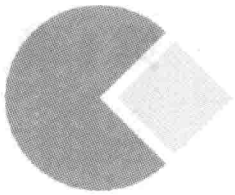
感谢我的家人、长辈和朋友林进跃、林美玉、林惠忠、刘冰、林月明、温艳，感谢你们长期以来对我工作和生活上无微不至的关心和支持。

感谢所有读者的支持，是你们赋予了我写作的动力。另外，因为个人能力和水平有限，书中可能还有不足之处，希望读者不吝指教，一起探讨学习，联系方式是：**xuesenlin@alumni. cuhk.net**。编辑联系邮箱为：zhangtao@ptpress.com.cn。

目　录

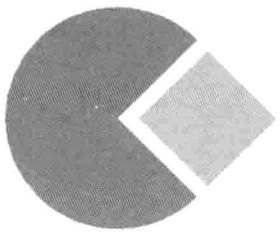
第 3 篇 应用原理篇

第 4 篇 Android 系统工具



第 1 篇

Android 编译篇



第 1 章　Android 系统简介

美国当地时间 2013 年 5 月 15～17 日，“Google I/O 2013”大会在旧金山市的 Moscone Center 举行。

据会议公布的官方数据：

- 全球已经激活的 Android 设备达到 9 亿次；
- Google Play 中收录了超过 70 万的应用程序；
- 应用程序安装量达到 480 亿次；
- 132 个以上的国家销售 Android 设备；
- 超过 190 个国家可以下载到免费的 Android 应用程序。

从 2008 年 9 月 Google 发布 Android 1.0 版本开始，Android 已经走过了 5 个年头。在这短短的几年间，这个以机器人为 Logo 的操作系统不仅席卷了全球各地的手机市场，而且与 iOS，Windows Phone 形成三足鼎立之势，更渗透到传统与新兴电子产业的方方面面。身边越来越多的产品已开始采用 Android 系统，如 Android 电视、平板电脑、MP4 等与人们日常生活息息相关的电子设备。

那么，Android 势不可当的魅力从何而来呢？本章将试着以 Android 系统的发展历史为主线，先为读者提供最直观的背景知识，从而为以后的“透过现象看本质”打下一定的基础。

1.1 Android 系统发展历程

和“Google”这个词所蕴含着的“Geek”们对于顶尖技术的狂热崇拜一样，“Android”一词先天就充满天才们改变世界梦想的味道。虽然一件杰出的作品并不能只靠“名号”，但毋庸置疑的是，一个叫得响又耐人寻味的名称总会使人产生不自觉的亲近感。这或许就是每个 Android 版本都会有个代号的原因。下面来看看各个版本对应的 Android“外号”，如表 1-1 所示。

表 1-1　　Android 各版本的代号

Code name	Version	API level
(no code name)	1.0	API level 1
(no code name)	1.1	API level 2
Cupcake（纸杯蛋糕）	1.5	API level 3, NDK 1
Donut（甜甜圈）	1.6	API level 4, NDK 2
Éclair（松饼）	2.0	API level 5
Éclair	2.0.1	API level 6
Éclair	2.1	API level 7, NDK 3
Froyo（冻酸奶）	2.2.x	API level 8, NDK 4
Gingerbread（姜饼）	2.3 - 2.3.2	API level 9, NDK 5

续表

Code name	Version	API level
Gingerbread	2.3.3 - 2.3.7	API level 10
Honeycomb（蜂巢）	3.0	API level 11
Honeycomb	3.1	API level 12, NDK 6
Honeycomb	3.2.x	API level 13
Ice-creamSandwich（冰激凌三明治）	4.0.1 - 4.0.2	API level 14, NDK 7
Ice-creamSandwich	4.0.3 - 4.0.4	API level 15
Jelly Bean（果冻豆）	4.1.x	API level 16
Jelly Bean	4.2.x	API level 17
Jelly Bean	4.3.x	API level 18
KitKat	4.4.x	API level 19

“Android”一词来源于法国作家 Auguste Villiers de l'Isle-Adam 的科幻小说《L'ève future》（未来夏娃），是机器人的意思。因此，最初每个系统版本的命名也都是以全球著名的机器人为参考的，如“AstroBoy”。后来由于版权问题，才改为以食物的方式取名。不过 Android 的 Logo 仍然是机器人的形象，如图 1-1 所示。

▲图 1-1 Android 官方 Logo

和很多著名的科技企业一样，Android 的创始人 Andy Rubin 也是个技术狂人。在创立 Android 公司前，他曾完成多项当时被称为“过于超前”的产品研发，并取得了一定的成绩。而创办 Android，最初的目的是提供一款开放式的移动平台系统。从 2003 年 10 月 Andy Rubin 开始启动这一系统的研究，Android 便正式走上历史的舞台。以下是关于这个系统的一些重要历史事件。

- 2003 年 10 月，Andy Rubin 在加利福尼亚州成立 Android 公司。
- 2005 年 4 月，Google 收购 Android。
- 2007 年 11 月，Google 成立 OHA（Open Handset Alliance）联盟，成员包括 Google，Broadcom，HTC，Intel，LG，Marvell，Motorola，NVIDIA，Qualcomm，Samsung 等通信行业和芯片制造领域的巨头。随后几年，这个联盟又陆续有不少公司加入，如著名的 Arm 公司、中国的华为等。
- 2007 年 11 月，Google 成立“Android Open Source Project”(AOSP)。这一项目的起步标志着 Android 系统首次公开面向全世界的开发者与使用者。

AOSP 的宗旨是：

Android Open Source Project is to create a successful real-world product that improves the mobile experience for end users。

因为是开源开放的组织，所以意味着每个人都可以参与进来，并为整个项目的发展添砖加瓦。如果读者有意愿成为其中的一员，可以参考该组织的相关说明（http://source.android.com/source/index.html）。

- 2007 年 11 月，Android Beta 版本发布。
- 2007 年 11 月，Android 第一个 SDK 版本发布。
- 2008 年 9 月，Android 1.0 版本正式发布。

至此，Android 版本的发布驶入正常轨道，保持着每年多次升级的速度，并加入越来越多的创新功能。

关于 Android 每个版本的特性及改版后一些重要变化的详细说明，请参阅官方网站（http://source.android.com/source/overview.html）。相信经过仔细比对各个版本的变化，读者会发现 Android 系统确实一直在秉承其“为终端用户提供更好的移动设备体验”的宗旨。

1.2 Android 系统特点

在这一节中，我们将从观察者的角度来客观评价 Android 系统某些突出的特点。这些分析中既包含了其值得肯定的诸多优点，也不吝指出其需要持续改善的地方。只有正确全面地了解一个系统所存在的优缺点，才可能在开发的过程中“知己知彼，百战不殆”，真正让系统为我们所用。

1. 开放与扩展性

相对于 iOS 和 Windows Phone 阵营，Android 操作系统最大的特点就是开放性；而且有别于个别开源项目的“藏藏掖掖”、“犹抱琵琶半遮面”，Android 几乎所有源码都可以免费下载到。无论是公司组织，还是个人开发者，Android 对于下载者基本没有限制，也没有下载权限的认证束缚。关于如何下载系统源码的完整描述，请参考下一章节。

当然，这并不代表开发者可以随意使用 Android 源码。事实上，Android 遵循的是 Apache 开源软件许可证。因此，所有跨越许可证规定范畴的行为都将是被禁止的。希望了解更多 Apache 协议条款详情的读者，可以自行查阅其官方说明（http://www.apache.org/）。

不过在大部分情况下，Android 操作系统仍然被认为是“高度自由”的。这也是越来越多的厂商选择 Android 作为下一代产品基础平台最主要的原因之一。可以想象，在其他操作系统对其授权的设备动辄收取每台高达几十甚至数百美元专利费的情况下，采用 Android 开源系统理论上就意味着降低成本。

另外，由于整个操作系统是开源的，从而给诸多产品制造商、软件开发商提供了创新的土壤环境。各厂商可以根据自己的需求，来完成对原生态系统的修改。大多数情况下，这种修改只是基于上层 UI 交互的“二次包装”，而保留底层系统的大框架。这就好比 Google 为大家免费提供了已经盖好的办公大楼，虽然是毛坯房，但相较于“万丈高楼平地起”的艰辛，显然已经为我们节约了大量的项目时间；而且我们可以通过“装修”把主要精力倾注在用户看得到的地方，从而更大限度地摆脱“产品同质化”的威胁。事实上，目前全球范围内已经有非常多这样的“装修范例”。大到跨国企业、运营商，小到一些初创的设计公司，都选择在 Android 系统上进行“界面”改造，再冠以新的操作系统名号。其中也不乏一些成功者，根据不同的地域环境、文化差异、使用习惯而定制出新的系统——这些具有“本地化”风格的“办公楼”往往比原生态系统更贴近当地消费者，因此受到热烈追捧。

而这一切，都要归功于 Android 系统的开放性。

2. 合理的分层架构

要学习 Android 系统，就不得不提它的分层架构。早期版本的 Android 系统框架包括四层，即 Linux Kernel，Library and Runtime，Application Framework 及 Application。后来因为版权相关原因在 Kernel 层之上新增了一个 Hardware Abstraction Layer。我们会在后续小节对各层功能适当地展开讨论。

由此可见，Android 系统是一个“杂合体”，即便说其“包罗万象”也一点不为过。它包括了 prebuilt，bionic 等在内的不少开源项目。管理这些项目显然不是件容易的事，这也是 Android 系统提供 Repo 工具，而不是直接使用 Git 来进行版本管理的原因之一（详见后续章节的描述）。

在面对这么多独立项目的时候，合理的分层架构就显得异常重要——既要保证系统功能的完整性，也要确保各项目的相对独立性。Android 系统成功地做到了这一点，整个软件栈条理清晰，分工明确。一方面，它将底层复杂性与移植难度尽可能隐藏起来；另一方面，则提供尽可能方便

的上层 API 接口，为开发者设计实现各种应用程序打下了坚实的基础。

3. 易用强大的 SDK

SDK（Software Development Kit）是操作系统与开发者之间的接口，也可以看成一个系统对外的窗口。对于广大的开发者而言，能否借助这个工具在尽可能短的周期内设计出符合需求而又稳定可靠的应用程序，是评判一个操作系统 SDK 好坏的重要标准之一。

Android 系统的大部分应用程序可以基于 Java 来开发。如果读者曾参与过大型的 C/C++研发项目（特别是面向嵌入式系统的），一定不会忘记加班加点解决内存泄露或者空指针异常的那些无眠夜。Java 语言对这些软件开发中最令人头疼的问题进行了强有力的改造，不但提供了垃圾回收机制，而且彻底隐藏了指针的使用。即便程序出现了崩溃，通常情况下也可以根据调用栈及各种 Log 来定位出问题的根源。这无疑为我们快速解决问题、保证程序稳定性提供了很好的平台基础。

Android 系统通过总结应用程序的开发规律，提供了 Activity，Service，Broadcast Receiver 及 Content Provider 四大组件；并且和 MFC 类似，设计了人性化的向导模式来帮助开发者便捷地生成工程原型。可以说，这些都为项目开发节约了不少宝贵时间。

另外，Android SDK 覆盖面相当广，且仍在持续扩充中。从线程管理、进程间通信等程序设计基础到各种界面组件的应用，只要是开发者能想到的，几乎都可以在 SDK 中找到现成的调用接口。而对一些界面特效的封装，使得开发者可以高效地设计出各种绚丽的 UI 效果，进而让 Android 系统加分良多。

4. 不断改进的交互界面

Android 版本的更迭是一件让无数人兴奋的事。除了那些令人眼前一亮的新功能外，不断改进的用户交互界面也是吸引用户的一个重要因素。我们可以明显地从新老版本的对比中寻找到 Google 追求绝佳用户体验的决心。

下面先来看看 Gingerbread（2.3 版本）的 Launcher 与 Camera 界面，如图 1-2 所示。

然后来看看后续版本上的变化，如图 1-3 所示。

▲图 1-2 Launcher 和 Camera 界面

▲图 1-3 后续 Android 版本变化

可以发现，新的版本相较于以前，不但在 UI 界面的色彩搭配、布局上有了很大提高，用户交互也更趋于人性化。这种对于用户最直观的“艺术盛宴”展示，促使越来越多的人投身到 Android 阵营中。

5. 逐步完善的生态系统

IT 业界长期以来都有一个共识——开发一个操作系统（OS）并不是最难的，而基于这个新的操作系统建立完整的生态系统才是最大的难点。用一句老话来说，颇有点“打江山易，守江山难”