

Yocto 项目实战教程： 高效定制嵌入式 Linux 系统

孙 杰 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京•BEIJING

内 容 简 介

本书从基础到高阶，系统化讲解 Yocto 项目的核心技术，涵盖 Yocto 项目概述、Linux 系统架构、OpenEmbedded 构建系统架构、元数据架构、Poky 核心组件、BSP 层定制、SDK 开发。结合大量实战示例，从 QEMU、树莓派到 i.MX 系列平台，循序渐进，帮助读者高效掌握 Yocto 项目的开发技能。

本书可作为嵌入式 Linux 系统开发人员、技术爱好者的自学或参考资料，也可以作为高校相关课程的教材。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

责任编辑：张春雨

文字编辑：刘 舫

印 刷：

装 订：

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：787×980 1/16 印张：00

字数：000 千字

版 次：2025 年 4 月第 1 版

印 次：2025 年 4 月第 1 次印刷

定 价：00.00 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：faq@phei.com.cn。

前言

本书基于笔者的实践经验，系统化讲解 Yocto 项目的核心知识，结合丰富的实战示例，帮助读者高效掌握 Yocto 项目的构建方法，并深入理解其应用与实践技巧。

1. 嵌入式 Linux 系统的现状与挑战

随着科技的快速发展，嵌入式 Linux 系统已广泛应用于智能家居、工业控制、智能汽车等领域，并在 AIoT、边缘计算、智能医疗等方向发挥关键作用。其开源、灵活、可定制的特性，使其成为嵌入式设备的主流操作系统，市场需求持续增长，推动其在智能设备中的核心地位不断加强。

然而，嵌入式 Linux 系统的开发面临诸多挑战。硬件生态碎片化导致适配和维护成本高昂，定制化需求要求针对启动速度、功耗、实时性、安全性进行深度优化，开发流程复杂涉及内核裁剪、驱动适配、交叉编译、软件栈集成，版本管理混乱，周期冗长。此外，软硬件协同优化难度大，不同平台资源受限，优化策略难以通用，进一步提升了开发门槛，使嵌入式 Linux 系统在智能设备中的核心地位面临更高的技术挑战。

2. 应运而生的 Yocto 项目

面对嵌入式 Linux 系统开发中硬件适配复杂、定制化需求高、构建流程繁琐等挑战，Yocto 项目提供了一套灵活、可扩展、自动化的构建工具集。它采用模块化架构、分层构建体系和软件栈管理机制，使开发者能够高效定制、优化和维护嵌入式 Linux 系统，提高开发效率并降低适配成本。

Yocto 项目汇聚了全球开发者的智慧，依托活跃的开源社区，不断优化和迭代，支持多架构、多平台的嵌入式 Linux 系统构建与定制。它持续提升跨平台适配能力、完善长期维护机制、增强系统稳定性和可复用性。随着技术演进，Yocto 项目不断拓展应用场景，为日益复杂的嵌入式 Linux 系统需求提供更加高效、可靠的解决方案。

3. 本书的定位与特点

Yocto 项目已成为定制嵌入式 Linux 系统的主流工具，但由于构建体系复杂、配置灵活但门槛高、调试难度大，其“难学易用”的特性让许多开发者望而却步。本书在官方文档的基础上，结合笔者多年的嵌入式开发经验，提炼核心理论框架，使其易读易懂。同时辅以大量实践案例，帮助读者系统化学习 Yocto 项目，快速掌握 Yocto 项目的基础知识与实战技巧。

本书以实践为导向，从基础到进阶、理论到实战，循序渐进，全面剖析 Yocto 项目的架构与高阶应用。无论是初学者、进阶开发者，还是专注于底层技术研究的专家，本书都将成为系统学习 Yocto 项目的一站式指南，助您自信应对嵌入式 Linux 系统的定制与构建挑战。

4. Yocto 项目在中国的现状与机遇

当前，Yocto 项目已在全球范围内得到广泛认可和应用，但在国内的普及程度相对较低。国产芯片适配度不足、技术资料主要以英文为主、本地社区生态不成熟，使开发者在学习和应用 Yocto 项目时面临较高门槛。此外，尽管国产 AI 技术发展迅速，AI 设备的软件环境仍主要依赖厂商的专有 SDK 和 BSP，不同平台的软件接口和适配机制存在差异，增加了系统维护和版本管理的复杂度。

随着国产芯片生态的持续优化，Yocto 项目的本地化进程正在加速推进。同时，AI 技术在边缘计算、智能设备等领域中的应用需求增长，对嵌入式 Linux 系统的定制、构建效率和长期维护提出了更高要求。Yocto 项目凭借灵活的构建机制和广泛的硬件支持，正成为国产芯片和 AI 应用的重要支撑，为嵌入式 Linux 系统的开发和维护提供**高效**、**稳定**、**可扩展**的解决方案。

5. 本书的总结与展望

本书旨在促进 Yocto 项目在国内的应用，帮助嵌入式开发者系统掌握其核心技术。通过系统化讲解与实践结合，降低学习门槛，使 Yocto 项目在国产芯片及更多嵌入式应用中发挥更大价值。

受限于编写周期和笔者个人水平，书中难免存在疏漏与不足。如您在阅读过程中发现问题或有任何建议，欢迎交流探讨。相信在大家的共同努力下，Yocto 项目将在国产芯片与嵌入式 Linux 系统领域得到更广泛的应用，推动嵌入式 Linux 系统生态的标准化与发展。

笔者：孙杰

邮箱：jerrysundev@163.com

目录

第 1 章	Yocto 项目	1
1.1	嵌入式 Linux 系统	1
1.1.1	什么是嵌入式系统	2
1.1.2	嵌入式 Linux 系统简介	2
1.1.3	嵌入式 Linux 系统的应用领域	3
1.1.4	嵌入式 Linux 系统构建工具	4
1.1.5	常见的嵌入式 Linux 系统发行版	5
1.2	什么是 Yocto 项目	6
1.2.1	Yocto 项目的起源	6
1.2.2	为什么选择 Yocto 项目	7
1.2.3	社区与资源	7
1.3	Yocto 项目概览	9
1.3.1	版本管理	10
1.3.2	开发与生产工具	12
1.3.3	常用术语	13
1.4	特性与挑战	16
1.4.1	特性与优势	16
1.4.2	面临的挑战	17
1.4.3	经验总结	19

第 2 章	Linux 系统架构	22
2.1	GNU/Linux	22
2.1.1	GNU/Linux 概述	23
2.1.2	Linux 系统架构	23
2.2	Bootloader	24
2.2.1	Bootloader 启动流程	25
2.2.2	常用的 Bootloader	25
2.2.3	U-Boot 简介	26
2.2.4	GRUB 简介	27
2.3	内核空间	28
2.3.1	Linux 内核	28
2.3.2	控制硬件资源	31
2.3.3	服务用户空间	32
2.4	用户空间	33
2.4.1	根文件系统	34
2.4.2	标准 C 库	34
2.4.3	系统共享库	36
2.4.4	init 进程	37
2.4.5	窗口管理系统	38
第 3 章	Yocto 项目基础架构	40
3.1	快速构建指南	41
3.1.1	搭建构建主机环境	41
3.1.2	下载 Poky 源代码	42
3.1.3	初始化 OpenEmbedded 构建环境	42
3.1.4	构建镜像	44
3.1.5	QEMU 启动镜像	44
3.2	Yocto 项目架构	45
3.2.1	层模型	45
3.2.2	核心组件	46
3.2.3	构建主机	47
3.3	OpenEmbedded 构建系统	48

3.3.1	BitBake 构建引擎	49
3.3.2	OpenEmbedded-Core	49
3.3.3	构建系统工作流	50
3.4	OpenEmbedded 构建环境.....	52
3.4.1	构建环境配置脚本	53
3.4.2	构建目录结构	54
3.4.3	构建输出结构	55
第 4 章	元数据架构	60
4.1	元数据	60
4.1.1	元数据概念	61
4.1.2	元数据文件	61
4.1.3	元数据语法	68
4.2	菜谱	77
4.2.1	菜谱及追加菜谱示例	77
4.2.2	菜谱命名与版本控制	79
4.2.3	菜谱语法	81
4.2.4	创建菜谱	89
4.2.5	菜谱工作流	97
4.3	层	108
4.3.1	层的概念	108
4.3.2	层的结构与功能	109
4.3.3	层的分类	115
4.3.4	bitbake-layers 层管理工具.....	122
第 5 章	BitBake 构建引擎.....	130
5.1	BitBake 的起源与发展	130
5.2	BitBake 的源代码	131
5.2.1	BitBake 源代码的获取	131
5.2.2	BitBake 源代码结构及核心模块	132
5.3	BitBake 命令	137
5.3.1	BitBake 的命令语法	137

5.3.2	执行默认任务	140
5.3.3	执行指定任务	141
5.3.4	强制执行任务	143
5.4	BitBake 调试与优化	144
5.4.1	清除共享状态缓存	144
5.4.2	查看任务列表	146
5.4.3	查看变量值	149
5.4.4	查看依赖关系	150
5.4.5	查看调试信息	153
5.5	BitBake 执行流程	154
5.5.1	基础配置解析	155
5.5.2	菜谱解析与管理	156
5.5.3	任务依赖与调度	158
5.5.4	任务执行与日志记录	159
第 6 章	Poky 参考发行版.....	163
6.1	Poky.....	163
6.1.1	Poky 的发行版与特性	164
6.1.2	Poky 的源代码结构与核心文件	165
6.2	镜像菜谱	167
6.2.1	镜像菜谱详解	167
6.2.2	镜像菜谱语法	171
6.2.3	镜像类	173
6.2.4	包组菜谱	178
6.3	机器配置文件	181
6.3.1	Poky 中的机器配置文件	181
6.3.2	机器特性与实现	188
6.3.3	选择目标设备	190
6.4	发行版配置文件	191
6.4.1	指定发行版配置	191
6.4.2	Poky 中的发行版配置文件	192
6.4.3	发行版特性与实现	199

6.5	QEMU	203
6.5.1	QEMU 简介	203
6.5.2	设置 QEMU 的运行环境.....	204
6.5.3	runqemu 脚本	204
第 7 章	定制镜像菜谱与内核菜谱	208
7.1	定制镜像菜谱	209
7.1.1	搭建构建环境	209
7.1.2	创建自定义层	210
7.1.3	定制镜像菜谱	211
7.1.4	QEMU 测试镜像.....	214
7.2	定制应用程序	216
7.2.1	HelloWorld 应用程序.....	216
7.2.2	Yocto 项目中的 HelloWorld 程序	217
7.2.3	使用 QEMU 测试 HelloWorld 程序	219
7.3	定制内核菜谱	219
7.3.1	Yocto 项目的内核仓库	220
7.3.2	内核元数据	225
7.3.3	内核菜谱	234
7.3.4	内核配置	239
7.3.5	定制内核菜谱	242
7.4	定制内核树外模块	245
7.4.1	树外模块的基本原理	245
7.4.2	树外模块的安装与加载	246
7.4.3	定制 customer.ko 树外模块	248
第 8 章	树莓派启动定制镜像	253
8.1	树莓派简介	254
8.1.1	树莓派 4B.....	254
8.1.2	树莓派与 Yocto 项目	255
8.2	构建和部署树莓派镜像	256
8.2.1	构建树莓派测试镜像	256

8.2.2	部署镜像到 SD 卡	261
8.2.3	启动树莓派 4B.....	265
8.3	meta-raspberrypi 层	266
8.3.1	meta-raspberrypi 层概述	267
8.3.2	层配置	269
8.3.3	硬件配置	271
8.3.4	内核配置	274
8.3.5	图形系统配置	278
8.3.6	硬件测试镜像菜谱	279
8.4	使用 Wic 工具创建分区镜像.....	279
8.4.1	Wic 工具介绍.....	280
8.4.2	kickstart 文件	283
8.4.3	Wic 插件.....	286
8.4.4	Wic 工具的操作模式.....	288
8.4.5	树莓派的镜像分区	290
8.4.6	镜像部署	293
第 9 章	实战定制树莓派 BSP 层.....	297
9.1	创建与配置 BSP 层	298
9.1.1	定制 BSP 层的方法	298
9.1.2	创建 meta-raspberrypi-custom 层	298
9.1.3	定制机器配置文件	300
9.2	定制内核菜谱	300
9.2.1	内核配置	301
9.2.2	指定内核设备树文件	302
9.2.3	添加内核补丁	303
9.3	定制硬件启动配置菜谱	306
9.3.1	指定内核设备树文件	307
9.3.2	控制 LED 硬件行为.....	307
9.4	定制基础图形镜像	310
9.4.1	创建基础镜像菜谱	310
9.4.2	添加 SSH 服务	311

9.4.3	X11 图形显示协议.....	311
9.4.4	启用 Systemd 系统管理器.....	313
9.5	定制分区镜像.....	316
9.5.1	定制 kickstart 文件.....	316
9.5.2	重构并验证镜像.....	317
9.5.3	meta-raspberrypi-custom 层的最终结构.....	318
第 10 章	软件开发工具包.....	320
10.1	软件开发工具包.....	321
10.1.1	SDK 简介.....	321
10.1.2	获取和使用 SDK 安装包.....	323
10.1.3	SDK 通用组件.....	327
10.2	可扩展 SDK.....	332
10.2.1	可扩展 SDK 结构.....	332
10.2.2	定制可扩展 SDK 安装包.....	335
10.2.3	devtool 命令行工具.....	339
10.3	标准 SDK 构建应用程序.....	348
10.3.1	定制应用程序.....	348
10.3.2	构建应用程序.....	349
10.3.3	部署与测试.....	352
10.4	可扩展 SDK 构建与部署.....	354
10.4.1	创建菜谱.....	354
10.4.2	构建与部署.....	359
10.4.3	测试与集成.....	361
第 11 章	进阶项目实战.....	366
11.1	搭建项目开发环境.....	367
11.1.1	硬件开发环境.....	367
11.1.2	软件开发环境.....	369
11.2	初始化构建环境.....	377
11.2.1	构建环境配置脚本.....	378
11.2.2	初始化构建环境.....	380

11.3	元数据结构	384
11.3.1	元数据层结构	384
11.3.2	镜像菜谱	387
11.3.3	内核	391
11.3.4	Bootloader.....	397
11.4	定制层与镜像	402
11.4.1	创建 meta-imx-custom 层	402
11.4.2	创建追加菜谱文件.....	403
11.4.3	集成 Chromium 浏览器	404
11.4.4	添加 Systemd 服务.....	407
11.5	构建镜像与部署验证.....	411
11.5.1	构建目标镜像	411
11.5.2	搭建部署环境	413
11.5.3	启动硬件与验证	420
附录 A	Yocto 项目社区与支持渠道	426