

技术总监辞职一年精心写作

- 作者希望认识技术水平超越本书内容的顶尖专家
(hxz@phei.com.cn)
- 对于经验非常丰富的高手，可以参照详细目录直接
阅读代码透析Linux内核实现原理的相关章节
- 对于入行多年的工程师，本书包含作者10多年的
实战经验与技能，让你遇到难题不求人
- 对于刚起步的初学者，本书详细介绍了嵌入式
Linux开发流程和方法，让你快速入门，不走弯路

Linux 嵌入式系统 内核

开发实战指南 (ARM平台)

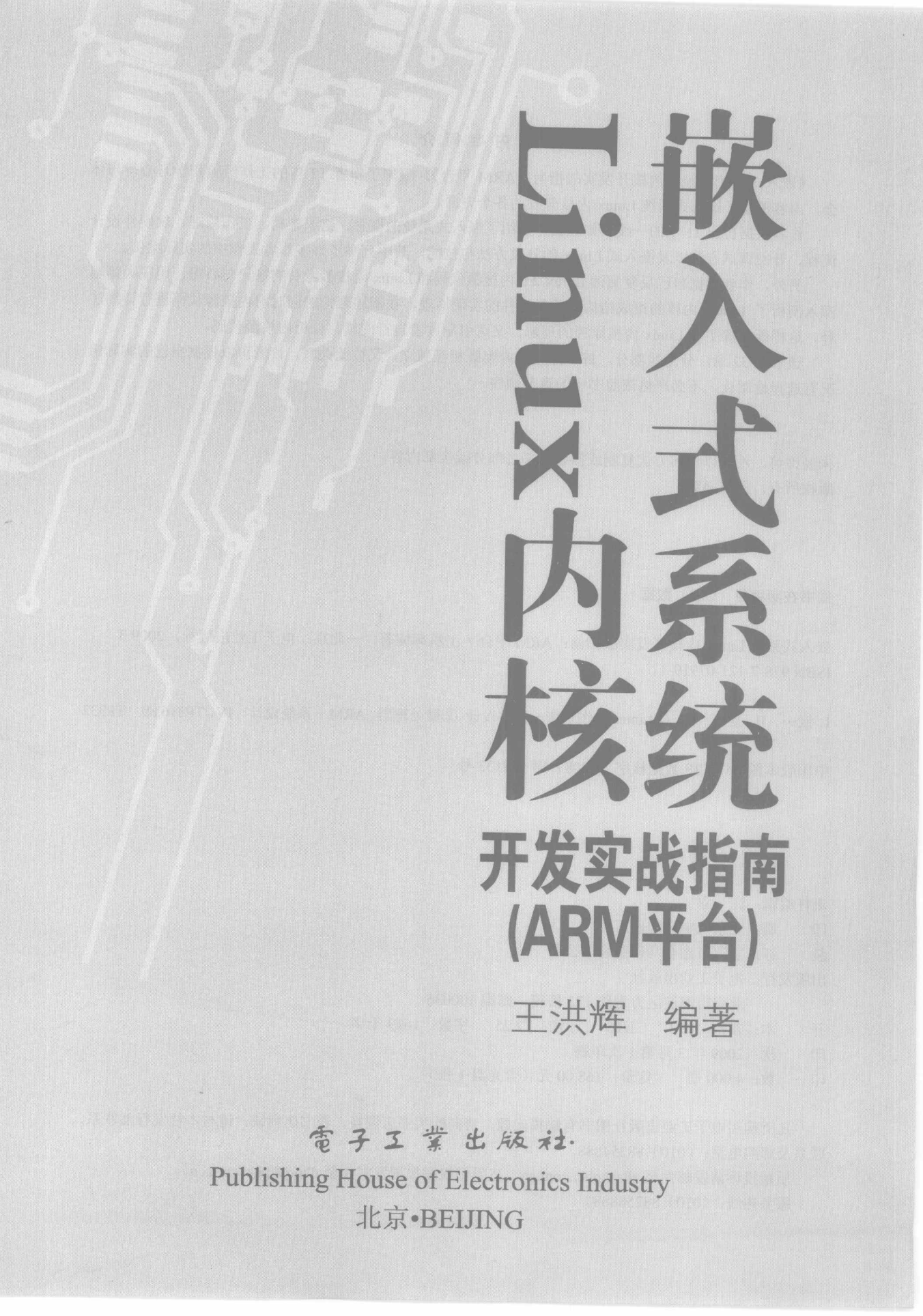
王洪辉 编著

CD-ROM
数据容量
300MB

- ① 自制S3C4510开发板原理图、PCB图
(Protel99SE)、移植好的 μ Clinux-20030305
源代码以及arm-elf交叉编译器
- ② 自制简易JTAG烧写线缆的原理图、PCB图
(Protel99SE)、烧写程序源代码和使用说明
- ③ 自制MC68VZ328开发板原理图、PCB图
(Protel99SE)、移植好的 μ Clinux-20030305
源代码以及mc68k-elf交叉编译器



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



Linux 嵌入式系统内核

开发实战指南
(ARM平台)

王洪辉 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

《嵌入式系统 Linux 内核开发实战指南 (ARM 平台)》凝聚了作者 12 年的工作经验和学习心得与体会, 内容覆盖了嵌入式系统 Linux 内核开发的各个方面。

作者根据自己 11 年的一线工作经验, 介绍了嵌入式系统的概念、组织架构、工作原理、软硬件设计流程、开发调试方法以及嵌入式 Linux 的开发方法与技能, 其中列举了许多作者工作中的实际案例。

另外, 作者根据自己反复阅读 Linux 2.6 内核源代码和 Linux 内核参考书的笔记与心得, 用很大篇幅深入剖析了 Linux 内核的组成结构以及各组件的实现原理, 在阐述理论的同时对内核源代码进行详细注释, 这样既加深了对 Linux 内核原理的理解, 又可引导读者自行阅读、分析内核源代码。

该书共 32 章, 分为四部分, 每一部分的内容既相互独立, 又彼此关联, 读者可以根据自己的实际情况有选择地阅读, 不必严格依照书中的章节顺序。

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

嵌入式系统 Linux 内核开发实战指南: ARM 平台 / 王洪辉编著. —北京: 电子工业出版社, 2009.3
ISBN 978-7-121-07919-1

I. 嵌… II. 王… III. ①Linux 操作系统—程序设计 ②微处理器, ARM—系统设计 IV. TP316.89 TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 188133 号

责任编辑: 江 立

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 72.25 字数: 1619 千字

印 次: 2009 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 168.00 元 (含光盘 1 张)

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。

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。

服务热线: (010) 88258888。

前言（序）

2007 年 8 月，我从上家公司辞职出来，放弃了刚上市公司骨干中层干部的职业，放弃了丰厚的待遇。

自 1996 年毕业以来，我一直从事嵌入式系统和 Linux 内核一线技术开发工作，我所承担的任务和项目基本都是由自己独立完成，即使担任了硬件部主管或技术总监职务，我对自己专长的工作仍是亲历亲为的。一方面，自己热爱这项工作，每攻克一个难题都能体验到莫大的成就感（相信技术工程师都有过这种体会）；另一方面，目前国内做嵌入式系统和 Linux 内核开发的工程师供不应求，水平高的更是奇缺，相关职位的待遇相对其他职位的偏高，少招一个新员工就为公司节省一笔开支，减轻一份负担，所以对于比较简单和事务性的工作我会安排给其他员工，而难度大的工作我几乎都亲自上阵。我习惯加班，来了兴致甚至通宵达旦，凭着这股干劲，经过多年实践积累，自己常能在短时间内解决很多人长时间没有解决的问题。在我工作中接触到 Linux 之初，为了更好更深入地学习嵌入式系统和 Linux 内核开发技能，我在业余时间自己花钱设计制作了 MC68VZ328 和 S3C4510 两种开发板以及简易 JTAG 下载、烧写线缆，并成功移植、固化 μ Clinux 到这两个开发板上——到目前为止，我已经在当今流行的各种嵌入式硬件平台（包括单片机、MC68K、PowerPC、ARM、MIPS、DSP）和嵌入式操作系统（包括 VRTX、VxWorks、PSOS、Linux）上都做过实际开发工作，编写、移植或者调试过 UART、Ethernet、I2C、HDLC+E1、LCD、Keyboard、VFD、SCSI、SATA、IDE、CVBS、VGA、PCI、USB 等接口和设备的驱动程序。

在与 Linux 打交道的这么多年里，我一心想把这个开放源码的优秀操作系统吃透，并理所当然地觉得，随着时间的推移和所做项目的增多，自己一定会逐渐认识 Linux 内核的真实面目；可是一直以来，每当我想在脑海中对 Linux 内核各组件及其原理进行全面系统概括描述时却总是如鲠在喉，不得其解，这让我心里一直潜藏着一丝隐忧和茫然：由于不了解 Linux 内核原理，尽管自己能凭借 10 多年的工作经验通过适当方法很快把任务完成、把难题解决，但却不能在碰到难题一开始就从原理上把握应该从哪儿下手，怎样做、做什么，缺乏全局预见性和高瞻远瞩的能力，这种心中“没底”的感觉驱使我去更深入钻研、发掘，去力争做到心中“有底”；这也让我意识到，虽然经过 10 多年的勤奋工作，自己已经积累了足够的工作经验，不过由于平时很少阅读理论书籍和 Linux 内核源代码，Linux 内核原理知识并没有像我原来想象的那样自然而然地装进自己的大脑，所以自己的理论水平仍然很欠缺，要想提高就必须经过一个艰苦的沉淀过程；由于平时工作忙、任务紧，我很少有时间来做系统的总结和归纳，在这种情况下，

出于对公司和自己负责任考虑，我决定辞去工作，在家专心、系统研读 Linux 内核源代码，同时也对自己 10 多年的工作进行一次全面概括和总结。

我花了半年多时间阅读针对 ARM 处理器平台的 Linux 2.6.10 内核源代码，记了 2000 多页的源代码阅读笔记和心得。2008 年 4 月，我在家坐不住想去找工作——辞职前，我常开车去兜风或带家人郊游，辞职后不久，为了节省支出，我把车卖了，这半年多时间里，我除了早晨出去锻炼外，一天难得出门，没有娱乐，没有朋友交流，没有旅游，这对于一个身处物欲横流的繁华都市闹市区的人来说会是一种怎样的生活体验呢？更何况对于英俊潇洒、才华横溢、热情好动的本人呢（☺）——于是我在脑海中总结半年多来的学习成果和收获，虽然感觉眼前比以前亮堂了许多，但仍是朦朦胧胧，似是而非，不得已只好强迫自己继续坐下去。我把以前的工作笔记、工作总结、自制的开发板全部找出来，又买了几本介绍 Linux 内核原理、驱动程序编写方面的理论书籍，把所有这些与半年多来阅读 Linux 2.6 内核源代码的笔记和心得进行交叉学习，相互印证，加深理解，同时对这些资料再次进行总结、归纳、记笔记、写心得；到 2008 年 6 月，当我再次回头清理头绪，翻看新的笔记时，顿然感觉 Linux 2.6 内核的轮廓渐渐清晰起来，我很兴奋并突发想象：何不将新的笔记、心得整理完善一下，那样不就可以编辑成一本介绍嵌入式系统硬件原理及软硬件设计流程与方法、嵌入式 Linux 内核原理及开发方法与技能、常见设备工作原理及其驱动程序的编写方法的完整的书了？联想到现在越来越多的年轻人开始热衷于嵌入式系统 Linux 内核开发这项高科技、高薪工作，却苦于找不到一本从实战出发全面深入介绍这方面技术的指导书，他们有的不惜花重金去参加培训，可是当这些培训后的部分人到我那面试时，我却发现他们所学甚浅，不懂原理，只知道操作流程，有的甚至连基本的流程都不熟悉；加上以前在一些嵌入式系统和 Linux 论坛中看到很多网友呼吁有经验的开发人员把自己的工作经验总结一下写出来供大家参考，这更让我有了写这本书的冲动。于是我又耐心坐了 3 个多月，继续总结、归纳、提炼、整理、完善，到了 2008 年 9 月，原来的笔记和心得就浓缩成了《嵌入式系统 Linux 内核开发实战指南（ARM 平台）》，我也实现了一次自我超越，从“摸着石头过河”的尴尬与无奈走向了“不管风吹浪打，胜似闲庭信步”的潇洒与从容！

《嵌入式系统 Linux 内核开发实战指南（ARM 平台）》包含了我 11 年的工作笔记、经验总结，一年多来对 ARM 处理器平台 Linux 2.6 内核源代码的阅读心得和体会以及对几本理论参考书的阅读笔记和心得，这本书是从这些内容中提炼出来的，是我对自己 12 年工作和学习的概括与总结。

《嵌入式系统 Linux 内核开发实战指南（ARM 平台）》以嵌入式系统 Linux 内核开发的整个过程为线索，按照先硬件后软件、先易后难的顺序编写。书中内容覆盖了嵌入式系统 Linux 内核开发的各个方面，全书由“嵌入式系统硬件开发（共 10 章）”、“Linux 内核开发初步（共 6 章）”、“Linux 2.6 内核原理（共 9 章）”、“Linux 内核开发高级指南（共 7 章）”四部分组成，共 32 章。其中“嵌入式系统硬件开发”部分主要以 ARM 处理器为例介绍了嵌入式处理器的特点、内部原理以及硬件开发调试流程和方法，还介绍了如何制作简易 JTAG 线缆和编写烧写程序；“Linux 内核开发初步”部分主要介绍各种 bootloader、Linux 开发环境的创建、Linux 内核的配置和编译以及根文件系统的制作，还简单介绍了 μ Clinux；“Linux 2.6 内核原理”部分是本书的核心，该部分以 Linux 2.6.10 内核源代码为基础深入剖析了 Linux 2.6 内核的各个组成部分

及其实现原理，包括 Linux 启动过程、内存管理、进程调度、文件系统、模块设计、异常中断处理、软中断和工作队列、并发和竞态、设备驱动程序等，是以源代码阅读心得和体会+参考书阅读笔记和心得+源代码详细注释方式编写的，因为 Linux 源代码是 Linux 操作系统理论的实践成果，讲解 Linux 内核理论的同时加上必要的源代码注释就会非常直观，否则恐怕又会是乏味的天书；“Linux 内核开发高级指南”部分则介绍了一些比较高级的技能和开发人员平时很少关注的方面，这部分包括 Linux 系统参数设置、内核调试、内核移植、内核优化、定时器、杂项以及编译链接文件说明等。

《嵌入式系统 Linux 内核开发实战指南（ARM 平台）》适合已经或者志愿从事嵌入式系统 Linux 内核开发各阶段、各层次的人员阅读。初级开发人员包括在校大学生可以从中找到努力的方向；中级开发人员可以从中找到更深层细致的内容和有效的方法；高级开发人员可以从中发现不少解决难题的点睛之笔——总之我希望并相信这本书能对爱好或从事嵌入式系统和 Linux 内核开发的读者有一定帮助，使他们在技术开发的道路上少走一些弯路！

当然，一本书不可能包括全部细节，Linux 2.6 内核源代码本身就远不是一本 1000 多页的书所能容纳的。事实上，随着写作的深入，我发现要写和想写的东西越来越多，这或许就是知识的扩张效应吧：当我们了解的东西很少的时候，未知领域和已知领域的分界线只是一个很小的圈，随着我们知识的增加和积累，这个圈慢慢向外伸展，越来越大，于是我们就感觉到不懂的东西越来越多而不是越来越少。正是这种感觉激发了人们的求知欲，有多少科学家特别是我们中国的科学家，把自己的一生都默默奉献给了国家的科学发展事业，成就了中国世界科技大国的地位！他们从不奢望也不屑获得所谓的“诺贝尔”！——但是无论如何，这本书只能就此告一段落，如果有可能，我会把更多内容和细节写入下一本书中。

由于书中内容太多，其中难免出现一些错别字或文笔不通的现象，也可能会有错误，如果读者碰到这种情况，请在广泛查阅相关资料并亲自实验的基础上得出并坚持正确的结论，不要迷信书本和权威，要敢于怀疑，勤于思考和验证，这样才能更快地进步，这才是科学态度。我诚挚期望读者能向我指出书中的错误和不足，这样我就能与读者共同进步和提高！

最后我要特别提到，在学习和写作的整个过程中，我常看《恰同学少年》——想到那么多平凡而壮丽的人生，自己一年多来吃的这点“苦”又算得了什么呢？呵呵，毛毛雨而已！

王洪辉

2008 年 12 月 26 日

作者创建了网站 <http://www.931226.com> 作为与读者交流的平台，分享心得，共同进步！为什么这个网站域名为“931226”呢？希望聪明的读者找到答案。

技术凝聚实力 专业创新出版

博文视点 (www.broadview.com.cn) 资讯有限公司是电子工业出版社、CSDN.NET、《程序员》杂志联合打造的专业出版平台，博文视点致力于——IT专业图书出版，为IT专业人士提供真正专业、经典的好书。

请访问 www.dearbook.com.cn (第二书店) 购买优惠价格的博文视点经典图书。

请访问 www.broadview.com.cn (博文视点的服务平台) 了解更多更全面的出版信息；您的投稿信息在这里将会得到迅速的反馈。

博文典藏



博文视点资讯有限公司
电话: (010) 51260888 传真: (010) 51260888-802
E-mail: market@broadview.com.cn (市场)
editor@broadview.com.cn jsj@phei.com.cn (投稿)
通信地址: 北京市万寿路173信箱 北京博文视点资讯有限公司
邮编: 100036

电子工业出版社发行部
发行部: (010) 88254055
门市部: (010) 68279077 68211478
传真: (010) 88254050 88254060
通信地址: 北京市万寿路173信箱
邮编: 100036

博文视点 · IT出版旗舰品牌



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

Broadview®
WWW.BROADVIEW.COM.CN

Csdn.net

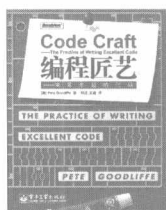
技术凝聚实力 专业创新出版

博文视点 (www.broadview.com.cn) 资讯有限公司是电子工业出版社、CSDN.NET、《程序员》杂志联合打造的专业出版平台，博文视点致力于——IT专业图书出版，为IT专业人士提供真正专业、经典的好书。

请访问 www.dearbook.com.cn (第二书店) 购买优惠价格的博文视点经典图书。

请访问 www.broadview.com.cn (博文视点的服务平台) 了解更多更全面的出版信息；您的投稿信息在这里将会得到迅速的反馈。

博文外版精品汇聚



《编程匠艺：编写卓越的代码》

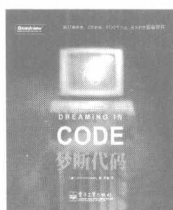
【美】古德利弗 (Goodliffe, P.) 著

韩江, 陈玉译

ISBN 978-7-121-06980-2 定价: 79.00元

《程序员》杂志技术主编孟岩作序推荐!

助你在现实世界重重困难的情况下写出优秀的代码!



《梦断代码》

【美】司各特·罗森伯格 (Rosenberg, S.) 著

韩磊 译

ISBN 978-7-121-06679-5 定价: 49.00元

奇人·奇梦·奇书!

两打程序员, 3年时间, 4732个bug, 只为打造超卓软件。



《软件估算——“黑匣子”揭秘》

【美】麦克康内尔 (Steve McConnell) 著

宋锐 等译, 徐锋 校稿

ISBN 978-7-121-05295-8 定价: 49.00元

《代码大全》作者又一力作!

看! 聪明的程序员和经理们是如何成功进行估算的。



《网站重构——应用Web标准进行设计 (第2版)》

【美】泽尔德曼 (Zeldman, J.) 著

傅捷, 王宗义, 祝军 译

ISBN 978-7-121-05710-6 定价: 49.80元

Web 2.0时代畅销书升级版!

Web标准组织创始人力作全新登陆中国。



与Intel合作出版, 国内引进的第一本讲解多核程序设计技术的书!

《多核程序设计技术——通过软件多线程提升性能》

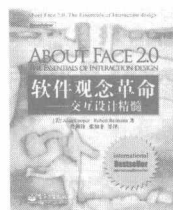
【孟加拉】阿克特 (Akter, S.),

【美】罗伯茨 (Roberts, J.) 著

李宝峰, 富弘毅, 李韬 译 2007年3月出版

ISBN 978-7-121-03871-6 定价: 49.00元

本书从原理、技术、经验和工具等方面为读者提供关于多核程序设计技术的全方位理解。



JOLT大奖经典之作, 关于交互系统设计的真知灼见!

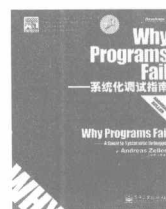
《软件观念革命——交互设计精髓》

【美】艾伦·库珀 (Alan Cooper) 等著

唐剑峰, 张知非 等译 2005年6月出版

ISBN 7-121-01180-8 定价: 89.00元

这是一本在交互设计前沿有着10年设计咨询经验及25年计算机工业界经验的卓越权威——VB之父ALAN COOPER撰写的设计数字化产品行为的启蒙书。



荣获JOLT震撼大奖! 首本从系统化角度介绍发现和修正编程错误的方法的书。

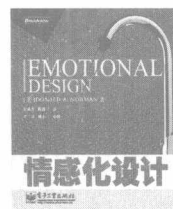
《Why Programs Fail——系统化调试指南》

【德】泽勒 (Zeller, A.) 著

王咏武, 王咏刚 译 2007年3月出版

ISBN 978-7-121-03686-6 定价: 59.00元

这是一本关于计算机程序中的Bug的书——如何发现Bug? 如何定位Bug? 以及如何修正Bug, 使它们不再出现? 本书将教会你很多技术, 使你能以系统的甚至是优雅的方式调试任何程序。



设计心理学的经典之作! 中科院院士张钹亲自作序, 人机交互专家叶展高度评价!

《情感化设计》

【美】诺曼 (Donald A. Norman) 著

付秋芳, 程进 译 2005年5月出版

ISBN 7-121-00940-4 定价: 36.00元

设计的最高境界是什么? 本书以独特细腻、轻松诙谐的笔法, 以本能、行为和反思这三个设计的不同维度为基础, 阐述了情感在设计中所处的重要地位与作用。

博文视点资讯有限公司
电 话: (010) 51260888 传真: (010) 51260888-802
E-mail: market@broadview.com.cn (市场)
editor@broadview.com.cn jsj@phei.com.cn (投稿)
通信地址: 北京市万寿路173信箱 北京博文视点资讯有限公司
邮 编: 100036

电子工业出版社发行部
发 行 部: (010) 88254055
门 市 部: (010) 68279077 68211478
传 真: (010) 88254050 88254060
通信地址: 北京市万寿路173信箱
邮 编: 100036

博文视点 · IT出版旗舰品牌

技术凝聚实力 专业创新出版

博文视点 (www.broadview.com.cn) 资讯有限公司是电子工业出版社、CSDN.NET、《程序员》杂志联合打造的专业出版平台，博文视点致力于——IT专业图书出版，为IT专业人士提供真正专业、经典的好书。

请访问 www.dearbook.com.cn (第二书店) 购买优惠价格的博文视点经典图书。

请访问 www.broadview.com.cn (博文视点的服务平台) 了解更多更全面的出版信息；您的投稿信息在这里将会得到迅速的反馈。

博文本版精品汇聚



加密与解密 (第三版)

段钢 编著
ISBN 978-7-121-06644-3
定价：69.00元

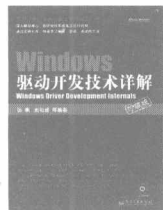
畅销书升级版，出版一月销售10000册。
看雪软件安全学院众多高手，合力历时4年精心打造。



疯狂Java讲义

新东方IT培训广州中心
软件教学总监 李刚 编著
ISBN 978-7-121-06646-7
定价：99.00元 (含光盘1张)

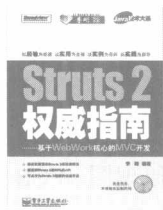
用案例驱动，将知识点融入实际项目的开发。
代码注释非常详细，几乎每两行代码就有一行注释。



Windows驱动开发技术详解

张帆 等编著
ISBN 978-7-121-06846-1
定价：65.00元 (含光盘1张)

原创经典，威盛一线工程师倾力打造。
深入驱动核心，剖析操作系统底层运行机制。



Struts 2权威指南

李刚 编著
ISBN 978-7-121-04853-1
定价：79.00元 (含光盘1张)

可以作为Struts 2框架的权威手册。
通过实例演示Struts 2框架的用法。



你必须知道的.NET

王涛 著
ISBN 978-7-121-05891-2
定价：69.80元

来自于微软MVP的最新技术心得和感悟。
将技术问题以生动易懂的语言展开，层层深入，以例说理。



Oracle数据库精讲与疑难解析

赵振平 编著
ISBN 978-7-121-06189-9
定价：128.00元

754个故障重现，件件源自工作的经验教训。
为专业人士提供的速查手册，遇到故障不求人。



SOA原理·方法·实践

IBM资深架构师毛新生 主编
ISBN 978-7-121-04264-5
定价：49.8元

SOA技术巅峰之作！
IBM中国开发中心技术经典呈现！



VC++深入详解

孙鑫 编著
ISBN 7-121-02530-2
定价：89.00元 (含光盘1张)

IT培训专家孙鑫经典畅销力作！

目 录 一 览

第 1 部分 嵌入式系统硬件开发

第 1 章 嵌入式系统概述	2
第 2 章 ARM 处理器概述	16
第 3 章 ARM 指令及其寻址方式	27
第 4 章 ARM 处理器内存管理单元 (MMU)	61
第 5 章 ARM 处理器的 Cache 和 Write Buffer	82
第 6 章 ARM 处理器存储访问一致性问题	97
第 7 章 ARM 处理器工作模式与异常中断处理	101
第 8 章 ARM 处理器启动过程	110
第 9 章 嵌入式系统设计与调试	113
第 10 章 自制简易 JTAG 下载烧写工具	123

第 2 部分 Linux 内核开发初步

第 11 章 Bootloader	142
第 12 章 创建嵌入式 Linux 开发环境	151
第 13 章 编译 Linux 内核	166
第 14 章 创建 Linux 根文件系统	170
第 15 章 固化 Linux 内核和根文件系统	174
第 16 章 关于 μ Clinux	176

第 3 部分 Linux 2.6 内核原理

第 17 章 Linux 2.6.10@ARM 启动过程	182
第 18 章 Linux 内存管理	305
第 19 章 Linux 进程管理	480
第 20 章 Linux 文件管理	651

第 21 章	Linux 模块设计	834
第 22 章	Linux 系统异常中断管理	841
第 23 章	Linux 软中断和工作队列	901
第 24 章	Linux 并发与竞态	933
第 25 章	Linux 设备驱动程序	958

第 4 部分 Linux 内核开发高级指南

第 26 章	Linux 系统参数设置	1076
第 27 章	Linux 内核调试	1091
第 28 章	Linux 内核移植	1101
第 29 章	Linux 内核优化	1104
第 30 章	Linux 定时器	1109
第 31 章	杂项	1117
第 32 章	编译链接文件说明	1119
参考文献		1125

目 录

第 1 部分 嵌入式系统硬件开发

第 1 章 嵌入式系统概述

2

这一章对嵌入式系统的概念及其特点和应用作了概括介绍,笔者根据自己多年的经验阐述了对嵌入式系统的理解,并对一些常见的嵌入式处理器的硬件数据进行了比较。

1.1 嵌入式系统概念	2
1.2 嵌入式处理器	3
1.3 嵌入式系统应用	4
1.4 嵌入式系统发展	4
1.5 一些嵌入式处理器的硬件特性比较	5

第 2 章 ARM 处理器概述

16

为了使本书内容完整,从第 2 章到第 7 章中的内容大部分是笔者阅读《ARM 体系结构与编程》(详情参见附录中的参考文献)的笔记和心得,把与嵌入式系统开发和 Linux 内核密切相关的硬件知识进行了概括和整理,本章主要介绍了 ARM 处理器的特点、ARM 处理器的体系架构版本和 ARM 处理器系列。

2.1 ARM 发展历程	16
2.2 ARM 处理器特点	17
2.3 ARM 处理器应用	17
2.4 ARM 体系架构	18
2.4.1 ARM 体系架构版本	18
2.4.2 ARM 体系架构变种 (Variant)	20
2.4.3 ARM 体系架构版本命名格式	22
2.5 ARM 处理器	22
2.5.1 ARM7 系列处理器	23

2.5.2	ARM9 系列处理器	24
2.5.3	ARM9E 系列处理器	24
2.5.4	ARM10E 系列处理器	25
2.5.5	SecurCore 系列处理器	25
2.5.6	StrongARM 处理器	26
2.5.7	Xscale 处理器	26

第 3 章 ARM 指令及其寻址方式 27

本章主要介绍了 ARM 处理器的指令和寻址方式以及 ARM 汇编伪指令，这是做 ARM 处理器应用系统底层软件开发必备的知识。

3.1	ARM 处理器的程序状态寄存器 (PSR)	27
3.2	ARM 指令的条件码	28
3.3	ARM 指令介绍	29
3.3.1	跳转指令	29
3.3.2	数据处理指令	30
3.3.3	乘法指令	31
3.3.4	杂类算术指令	32
3.3.5	状态寄存器访问指令	32
3.3.6	Load/Store 内存访问指令	33
3.3.7	批量 Load/Store 内存访问指令	34
3.3.8	LDREX 和 STREX 指令	35
3.3.9	信号量操作指令	37
3.3.10	异常中断产生指令	37
3.3.11	ARM 协处理器指令	37
3.4	ARM 指令寻址方式	39
3.4.1	数据处理指令的操作数的寻址方式	39
3.4.2	字及无符号字节的 Load/Store 指令的寻址方式	43
3.4.3	杂类 Load/Store 指令的寻址方式	47
3.4.4	批量 Load/Store 指令的寻址方式	49
3.4.5	协处理器 Load/Store 指令的寻址方式	51
3.4.6	ARM 指令的寻址方式总结	52
3.5	ARM 汇编伪操作 (Directive)	53
3.5.1	符号定义伪操作	54
3.5.2	数据定义伪操作	54
3.5.3	汇编控制伪操作	56

3.5.4 栈中数据帧描述伪操作	57
3.5.5 信息报告伪操作	57
3.5.6 其他伪操作	58
3.6 ARM 汇编伪指令	59
3.7 Thumb 指令介绍	60
第 4 章 ARM 处理器内存管理单元 (MMU)	61

本章主要介绍了 ARM 处理器内存管理单元 (MMU) 的工作原理, Linux 内存管理功能是通过处理器硬件 MMU 实现的, 在没有 MMU 的处理器系统中, Linux 只能工作在物理地址模式, 没有虚拟 (线性) 地址空间的概念。

4.1 ARM 处理器中 CP15 协处理器的寄存器	61
4.1.1 访问 CP15 寄存器的指令	61
4.1.2 CP15 寄存器介绍	62
4.2 MMU 简介	70
4.3 系统访问存储空间的过程	71
4.3.1 使能 MMU 时的情况	71
4.3.2 禁止 MMU 时的情况	71
4.3.3 使能/禁止 MMU 时应注意的问题	72
4.4 ARM 处理器地址变换过程	72
4.4.1 MMU 的一级映射描述符	73
4.4.2 MMU 的二级映射描述符	74
4.4.3 基于段的地址变换过程	75
4.4.4 粗粒度大页地址变换过程	75
4.4.5 粗粒度小页地址变换过程	76
4.4.6 细粒度大页地址变换过程	76
4.4.7 细粒度小页地址变换过程	77
4.4.8 细粒度极小页地址变换过程	77
4.5 ARM 存储空间访问权限控制	78
4.6 TLB 操作	79
4.6.1 使 TLB 内容无效	79
4.6.2 锁定 TLB 内容	79
4.6.3 解除 TLB 中被锁定的地址变换条目	80
4.7 存储访问失效	80
4.7.1 MMU 失效 (MMU Fault)	80
4.7.2 外部存储访问失效 (External Abort)	81

本章主要介绍了 ARM 处理器高速缓存（Cache）和写缓存（Write Buffer）的工作原理，使读者了解如何提高处理器的性能。

- 5.1 Cache 和 Write Buffer 一般性介绍 82
 - 5.1.1 Cache 工作原理 82
 - 5.1.2 地址映像方式 83
 - 5.1.3 Cache 写入方式原理简介 84
 - 5.1.4 关于 Write-through 和 Write-back 85
 - 5.1.5 Cache 替换策略 86
 - 5.1.6 使用 Cache 的必要性 87
 - 5.1.7 使用 Cache 的可行性 87
- 5.2 ARM 处理器中的 Cache 和 Write Buffer 88
 - 5.2.1 基本概念 88
 - 5.2.2 Cache 工作原理 88
 - 5.2.3 Cache 地址映射和变换方法 89
 - 5.2.4 Cache 分类 90
 - 5.2.5 Cache 替换算法 91
 - 5.2.6 Cache 内容锁定 91
 - 5.2.7 MMU 映射描述符中 B 位和 C 位的含义 92
 - 5.2.8 Cache 和 Writer Buffer 编程接口 93
- 5.3 ARM 处理器的快速上下文切换技术 94
 - 5.3.1 FCSE 概述 94
 - 5.3.2 FCSE 原理 94
 - 5.3.3 FCSE 编程接口 95

本章介绍了在支持 MMU、Cache 和 DMA 的系统中可能出现的存储访问一致性问题，以及 Linux 中解决类似问题的方法。

- 6.1 存储访问一致性问题介绍 97
 - 6.1.1 地址映射关系变化造成的数据不一致性 97
 - 6.1.2 指令 cache 的数据不一致性问题 98
 - 6.1.3 DMA 造成的数据不一致问题 99
 - 6.1.4 指令预取和自修改代码 99
- 6.2 Linux 中解决存储访问一致性问题方法 99

本章主要介绍了 ARM 处理器的工作模式和异常中断处理过程，这是 ARM 处理器系统启动程序编写者或 Bootloader 开发人员的必备知识。

7.1 ARM 处理器工作模式	101
7.2 ARM 处理器异常中断向量表和优先级	103
7.3 ARM 处理器异常中断处理	104
7.3.1 进入异常中断处理	104
7.3.2 退出异常中断处理	105
7.4 ARM 处理器的中断（IRQ 或 FIQ）	109

本章根据笔者的开发经验介绍了 ARM 处理器系统的启动过程以及编写 ARM 处理器系统启动程序需要注意的事项。

8.1 ARM 处理器上电/复位操作	110
8.2 ARM 处理器系统初始化过程	111
8.3 ARM 处理器系统初始化编程注意事项	111

本章根据笔者 10 多年的开发经验介绍了嵌入式系统的设计流程和调试方法，列举了大量笔者工作中碰到的实际案例。本章内容对于嵌入式系统硬件开发和调试有较高的参考、指导价值。

9.1 嵌入式系统设计流程	113
9.2 嵌入式系统硬件原理设计与审核	114
9.3 硬件设计工具软件	117
9.4 嵌入式系统调试仿真工具	117
9.5 嵌入式系统调试诊断方法	118

本章根据笔者自己制作简易 JTAG 线缆的经验，介绍了简易 JTAG 线缆的硬件原理和软件流程，这是初学者必备的最廉价的工具，必须掌握。

10.1 JTAG 简介	123
10.1.1 一些基本概念	124
10.1.2 JTAG 接口信号	124

10.1.3	TAP 控制器的状态机	125
10.1.4	JTAG 接口指令集	129
10.2	简易 JTAG 线缆原理	130
10.2.1	PC 并口定义	130
10.2.2	PC 并口的寄存器	131
10.2.3	简易 JTAG 线缆原理图	133
10.2.4	简易 JTAG 线缆烧写连接图 (见图 10-5)	134
10.3	简易 JTAG 烧写代码分析	135
10.3.1	简易 JTAG 烧写程序 (flashp) 使用说明	135
10.3.2	flash 与 CPU 连接及 flash 属性描述文件	136
10.3.3	简易 JTAG 烧写程序的执行逻辑和流程	138

第 2 部分 Linux 内核开发初步

第 11 章	Bootloader	142
--------	------------------	-----

本章根据笔者的工作经验介绍了流行的几种 Bootloader、Bootloader 应该具备的基本功能以及 Bootloader 的裁剪与移植。

11.1	Bootloader 的任务和作用	142
11.2	各种各样的 Bootloader	143
11.3	Bootloader 编译环境	144
11.4	Bootloader 的移植与裁减	145
11.5	编译 Bootloader	145
11.6	烧写 Bootloader	146
11.7	Bootloader 使用举例	148
11.8	Bootloader 修改举例	149

第 12 章	创建嵌入式 Linux 开发环境	151
--------	------------------------	-----

本章介绍了如何创建嵌入式系统 Linux 内核交叉开发环境, 本章和后续 3 章的内容是嵌入式系统 Linux 内核开发的基础, 必须掌握。

12.1	安装 Linux host	151
12.2	在虚拟机中安装 Linux host	152
12.3	安装 Linux 交叉编译环境	157
12.4	在主机上设置 TFTP Server	160
12.5	在主机上设置 DHCP Server	161