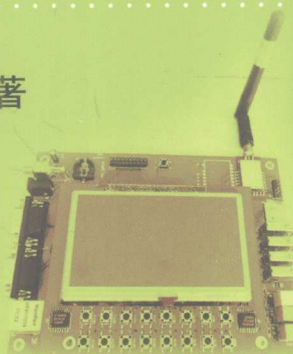




龙芯嵌入式系统 开发及应用实战

陈勇 杨战民 丁龙刚 姜仲秋
蔡阳波 覃章健 田广东 尹云飞 © 编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

国家信息技术紧缺人才培养工程指定教材
物联网技术与应用系列丛书

龙芯嵌入式系统开发及应用实战

陈 勇 杨战民 丁龙刚 姜仲秋 编著
蔡阳波 覃章健 田广东 尹云飞

内 容 提 要

本书主要基于龙芯芯片在嵌入式平台上的开发及应用,涉及嵌入 Linux 系统的开发和移植、无线传感网技术,以及远程服务器的网络通信技术,移动应用平台开发等多个方面全面的分析。

本书内容分为 5 个部分:第 1 部分是龙芯嵌入式系统开发的基础知识。介绍龙芯家族的嵌入式芯片发展状况,嵌入式开发的思想,以及主要针对龙芯 1B、龙芯 1C 两款芯片介绍主要硬件特性和使用到的软件资源。第 2 部分是嵌入式开发环境及相关基础知识。介绍开发环境的搭建,从 Ubuntu 虚拟机的安装,到交叉工具链的安装和主要调试工具的安装与使用。再从 Linux 系统的角度,介绍怎么在龙芯平台上移植 Bootloader、Linux 内核、文件系统和应用程序,以及 OpenWrt 开源解决方案的使用。第 3 部分是基于龙芯 1B 开发板的嵌入式 Linux 编程开发。主要是应用编程和驱动开发。应用编程有 Linux 基础编程、基于 QT 的图形界面编程,以及在嵌入式平台上的 Web 编程。驱动开发介绍了字符设备驱动、块设备驱动和 Linux 设备驱动中的主要机制。再从 ADC、外部按键和 RTC 几个具体的实例进行应用分析。第 4 部分是基于龙芯 1B 的项目实战。主要从智能农业大棚控制系统、智能家居和智慧教室三个项目中一一进行说明。第 5 部分是龙芯嵌入式开发的产品和应用。介绍了基于物联网无线通信协议 C-MAC 的远距离无线模块和龙芯与 C-MAC 的协议应用,以实现将嵌入式技术转换为实际应用。

本书适合具有一定嵌入 Linux 系统基础知识的开发人员,计算机及通信专业的在校学生,以及有过单片机和嵌入式硬件开发经验,想深入学习嵌入式软件开发的从业人员。对于涉及计算机网络,Linux 操作系统方面的基础知识我们只稍作介绍,不会深入地分析。我们旨在通过这些知识进一步深入地学习龙芯平台上的嵌入式开发和应用实战。

图书在版编目(CIP)数据

龙芯嵌入式系统开发及应用实战 / 陈勇等编著. —

南京:东南大学出版社,2016.12

物联网技术与应用系列丛书

ISBN 978-7-5641-6693-9

I. ①龙… II. ①陈… III. ①微处理器—系统设计

IV. ①TP332.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 197857 号

龙芯嵌入式系统开发及应用实战

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店

印 刷 南京京新印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 20.25

字 数 518 千字

书 号 ISBN 978-7-5641-6693-9

版 次 2016 年 12 月第 1 版

印 次 2016 年 12 月第 1 次印刷

定 价 52.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

推荐语

龙芯 CPU 芯片是我国自主创新发展高端通用芯片的典型。众所周知,今天 CPU 的竞争不仅是 CPU 本身的竞争,更是其生态系统的竞争。龙渊团队致力于开拓嵌入式龙芯 CPU 在互联网+、物联网等领域的应用,通过校、企、园区合作来孵化龙芯下游产业链的创新创业项目,大大扩展和增强了龙芯 CPU 的生态系统。

本书全面地介绍了龙芯系统芯片的发展和特点,深入地总结了龙渊团队的研发和产业化工作成果,对于相关领域的政产学研用各界人士,都有很好的参考价值。

中国工程院院士、联想集团首任总工程师



2016 年 12 月 6 日

序

中央处理器(CPU, Central Processing Unit)是计算机系统中最重要部件,是信息产品的“心脏”及其信息安全的保障,也是一个国家综合技术实力的象征。我国在 CPU 技术上长期以来被国外牵制,缺乏具有自主知识产权的 CPU 芯片。

自 2002 年中国科学院计算技术研究所自主研发龙芯 1 号芯片成功以来,在国家 863 计划和国家“核高基”重大专项等助力支持下,龙芯经历了 10 多年的快速发展,不仅在技术指标上不断刷新纪录,同时也为我国打破国外垄断、创出一条自主可控的 CPU 开发和产业化道路,起到了里程碑式的作用。

然而,当国产芯片想要更大规模产业化、更广泛地应用到国计民生中时,几个严峻的问题摆在眼前:

(1) 在通用 CPU 的 PC 领域:以 Intel X86 为代表的复杂指令集计算机(CISC)体系结构,基于英特尔和微软的“Wintel”组合,凭借 Windows 庞大的生态与开发环境,几乎垄断桌面电脑市场长达近 30 年之久。龙芯通用 CPU 是基于 MIPS 架构,在个人电脑操作系统方面,只能从开源的 Linux 系统中寻求突破。龙芯作为后来者,要进入通用 PC 市场的壁垒很高。

(2) 在通用嵌入式处理器(Embedded Processor Unit, EPU)应用领域:以 ARM 为代表的精简指令集算法(RISC),拥有开放式 IP 体系结构、基于高性能的软件平台和优越的用户体验。凭借内核授权或架构授权的模式,ARM 的 IP 核已成为当今国内外 SoC 芯片处理器业界的首选者,其相应产品线几乎覆盖了包括移动通信终端、消费类电子、数字电视、工业控制和汽车电子等微处理器应用的每一个领域。相比成熟强大的 ARM 生态圈,龙芯嵌入式芯片在嵌入式处理器应用的拓展,与通用 CPU 的 PC 领域一样举步维艰。

应该看到,无论是通用 CPU,还是通用嵌入式微处理器,国产芯片要想成功,仅仅靠技术指标的跟进是远远不够的,必须要有配套的操作系统及其应用软件,更重要的是架构起相应的产业链、价值链和生态链,为千差万别的应用场景和体验,提供优异的服务支撑。

2010 年底,南京龙渊微电子科技有限公司成立,旨在做一个龙芯产业化的推动者。龙渊团队认为:从市场发展态势看,嵌入式 CPU 市场可能给我国留有更多地发展空间,尤其是今天物联网被视作为全球经济增长的新引擎,带来新一代的信息技术革命;从竞争形势看,CPU 的竞争已不单纯是 CPU 自身的竞争,更多地体现在适配的产业生态系统的竞争上。《国家十三五规划》明确指出,首先实施“互联网+”行动计划,发展物联网技术和应用,发展“分享经济”这一网络经济的典型模式。

在新的领域,既是机遇,更是挑战。为此,龙渊团队励志做龙芯嵌入式芯片的具体应用,搭载嵌入式 Linux 操作系统,在新兴的互联网+、物联网领域开辟新的蓝海市场。

从 2014 年开始,龙渊团队在龙芯团队等科研机构的帮助和指导下,充分发挥龙芯 1B 芯片的高性能、低功耗特点,在超精简操作系统、超低功耗运行、开发实时 Linux 所需的专用驱动程序等方面,设计了多种开发板、核心板,开发了多种驱动、示例程序,出版 3 部教材并撰写说明书、开发资料、开发教程等。

同时,龙渊团队在智能农业、智能家居、智慧教室、智能制造等多个物联网具体应用领域,基于龙芯 1B 芯片平台,已开发形成和提供了从软件到硬件的嵌入式系统、物联网应用产品和物联网行业应用整体解决方案,创造了上亿元的经济效益,得到了市场和业界认可;其成果先后获得 21 项科技进步奖,并在国家工信部软件和集成电路促进中心一年一度的“中国芯”等评奖中,先后获得 15 项“中国芯”和年度物联网解决方案奖。龙渊团队为初步架构起的“龙芯 1B 芯片+Linux”的生态链,实现基于龙芯 1B 芯片的物联网应用作出了应有的贡献。

《龙芯嵌入式系统开发及应用实战》的编写,即是龙渊团队应用龙芯等国产技术,在多年面向物联网具体行业应用求索中的研究成果、经验和失败教训的总结。本书适合具有一定嵌入 Linux 系统基础知识的开发人员、计算机及通信专业的在校学生、从事嵌入式微处理器及其 SoC 芯片应用的研发人员;对于政府机关负责制定 CPU 产业发展规划的工作人员,也具有较好的参考价值。

是以以为序,并以中国半导体协会集成电路设计分会赵建忠老师的《浪淘沙—创新创业中国梦》一词为结语:

芯片铸国威,崛起晶硅! 雄鹰展翅向天飞。志在云霄揽皓月,一片葳蕤。

四海鼓惊雷,征道安危? 扫清霾雾沐春晖。鏖战骁将沙场唤,搏浪争魁。



2016 年 11 月 8 日

前言

作为曾为国人带来无限荣光的“中国第一芯”，龙芯 CPU 承载着太多的责任与使命，亦有着不同寻常的宏大愿景。2002 年 8 月 10 日清晨，当龙芯 1 号实机运行的画面出现在电脑屏幕上时，所有人都欢呼雀跃——中国终于拥有了自主知识产权的高性能“中国芯”“民族芯”。

然而，一个多数人忽略的关键问题摆在眼前：英特尔之所以在电脑芯片领域称雄，除了自身多年的技术和市场积累，还有一个重要盟友——微软。20 世纪 80 年代 IBM 在业界推出第一台个人电脑后，将芯片和操作系统订单分别交给了英特尔和微软。从那时起，这个隐形的“Wintel”组合一步一步蚕食市场，几乎垄断 PC 市场长达近 30 年之久。龙芯，显然缺少这样的盟友，相比成熟强大的微软操作系统 Windows，国产操作系统和国产芯片一样举步维艰。

国产芯片要想成功，仅仅是靠技术指标的跟进是远远不够的，必须要有配套的软件和服务支撑，能够应用到具体的生活场景中，才能得到市场的认可。在 PC 领域，微软的操作系统只对 X86 架构和扩展的 X64 架构 CPU 提供支持；龙芯是基于 MIPS 架构的，显然失去了这一强有力的臂助。对此，只能从开源的 Linux 系统中寻求帮助。但目前为止，在个人电脑操作系统的使用中，Linux 远比 Windows 逊色。仅就电脑而言，MIPS 架构的电脑想要赶超 X86 架构的电脑，尚需时日。

2010 年底，南京龙渊微电子科技有限公司成立，旨在普及推广龙芯等国产芯片，做龙芯产业化的推动者之一。龙渊团队另辟蹊径，希望应用龙芯嵌入式芯片，搭载嵌入式 Linux 操作系统和自主开发的物联网通信组网协议，在新兴的物联网、移动互联网等领域取得突破，为龙芯寻找一个全新的蓝海市场。在 PC 领域，基于 Windows 庞大的生态与开发环境，国产软件难与微软争锋。但是在互联网及嵌入式平台上，大量充斥着基于 Linux 的技术支持与平台应用，行业纷杂而标准又不统一。在新的领域，这既是机遇，更是挑战，大家尽可各显神通。而龙芯基于 MIPS 架构，仿佛天生基因中就已经写入了嵌入式的概念，使用起来显得游刃有余，这更坚定了我们做龙芯嵌入式开发的信心与勇气。

Linux 的优势在于它强大的网络功能，无论是大型的服务器，还是嵌入式设备，搭载 Linux 内核的操作系统随处可见。特别是伴随着互联网应用的发展，Linux 的开源性质更是吸引了全世界无数的开发者和爱好者共同来壮大这个阵营。龙渊团队做龙芯嵌入式芯片应用的第一个重要任务就是融入这个 Linux 生态，因而首先要实现一套从软件到硬件的完整嵌入式系统。龙芯 1B 等龙芯一号系列芯片，只是通用的嵌入式微处理器芯片，外围支持 DDR2、Nand、LCD、USB 等诸多特性。针对

这些特性,从硬件电路板设计,到 Linux 操作系统移植,我们都要一步步地实现。虽说 MIPS 架构在 Linux 内核中提供了很好的支持与兼容,且龙芯在最初的发展中积累了很多宝贵的经验可以借鉴,但面对市场上嵌入式开发多是基于 ARM 芯片的时潮,以及涉足物联网等新兴行业和技术,龙芯或多或少地出现了一些水土不服,甚至显得曲高和寡。但在没有任何市场预测前景下,我们还是成功地跨过了第一道门槛。

目前嵌入式操作系统领域,OpenWrt 可能是一个标杆。针对龙芯 1B 而言,龙渊团队经过多年的努力与探索,基本上算是驾轻就熟了。此外,我们在超精简操作系统、超低功耗运行、开发实时 Linux 所需的专用驱动程序等方面做了大量研究,使得龙芯 SoC 芯片可以高性能、低功耗地应用在物联网领域。同时,我们也开始从基础做起,培养龙芯 SoC 生态环境,设计了多种开发板、核心板,开发了多种驱动、示例程序,出版 3 部教材并撰写说明书、开发资料、开发教程等。

在龙芯嵌入式系统开发方面站稳了脚跟,接下来就需要在市场上谋求更大的发展。通过多年的摸索与实践,加上龙芯总设计师胡伟武老师的指导,我们意识到:龙芯也需要像 ARM 一样,打造一条完整的上下游生态链。无论是技术支持,还是商业合作,每个阶段和每个模块都要做得更加精细,才能经得起市场的考验。2014 年开始,我们响应胡伟武老师的号召,着力打造基于龙芯的物联网应用产业链和生态圈,面向具体的行业应用提供整体的解决方案。如今,基于龙芯平台的嵌入式系统已分别应用在智能农业、智能家居、智慧教室、智能制造等多个领域。虽然在一个大的系统应用里,龙芯芯片只占很小一部分,但是见微知著,我们最终走出了象牙塔,得到了市场和业界认可。近 3 年来,基于龙芯的各种物联网应用产品和解决方案,先后获得 26 项科技进步奖,创造了上亿元的经济效益;在国家工信部软件和集成电路促进中心一年一度的“中国芯”颁奖典礼和物联网大会中,先后获得 15 项“中国芯”和年度物联网解决方案奖。

2016 年,响应“大众创业、万众创新”和“互联网+”的号召,在多个政府部门和科技园区的支持下,我们成立了南京龙渊众创空间,致力于打造基于龙芯等国产芯片的物联网产业链和生态圈。经过半年多的努力,龙渊众创空间已和 20 多所国内高校和科技园区合作共建,初步完成了 4 个基于自主创新和创业项目孵化的上下游产业链的孵化创新平台,孵化面积 2.7 万平米,孵化项目近 200 个。区别于传统众创空间作为“二房东”、或泛泛提供“隔靴搔痒”的融资对接服务的模式,龙渊致力于打造两类众创空间:(1)国产技术的物联网、云计算应用产业链和生态圈(南京江宁开发区龙渊众创空间总部、南京理工大学紫金学院物联网众创空间等等);(2)结合当地重点特色产业,和科技园区、高校合作,打造具备地区特色的产业链集聚型众创空间,线下产业链企业入驻众创空间,线上提供“特色产业技术创新+产品电商+产品溯源+物联网智能化+旅游观光”等五位一体的系统服务(安徽亳州花草茶众创空间、淮安国家农业科技园星创天地等)。

龙渊众创空间集创新创业项目孵化和人才培养、产学研合作和成果转化、技术

支撑和科技金融服务为一体,打造多个创新创业的基础平台,具备五大特点:与高校、科研机构或科技园区合作共建的技术支撑平台和科技成果转化平台;基于国产技术,打造互联网+和物联网等上下游产业链和生态圈;以高校、科研机构的创新创业者和项目为主体进行孵化,并开展即将毕业大学生的就业和创新创业技能培训和实践;成立由数百家高科技人才创业企业组成的企业联盟,成为高校、企业、园区之间人才和科技成果等多方面需求对接的平台。

为进一步拓展产业链和生态圈,龙渊众创近期完成了六大举措:一是与国内 50 多家高校和企业、科技园区合作,共建众创空间,孵化创新创业项目;二是校、企、园区共同成立“互联网+企业联盟”,打造人才及技术需求搭建平台形成产业链;三是校、企、园区共建“互联网+学院”,开展大学生就业技能与创新创业能力培训,培养学以致用人才,提前对接企业需求;四是通过首届江苏省高校大学生创新创业大赛的学校分赛区的全省联动,持续邀请各高校组织大赛的分赛区,并聘请了一批专家担任大赛评委;五是联合了 20 余所高校,成立了高校科技成果和专利转化的产学研平台,校企园区三方产学研合作,推动物联网、互联网+产业发展;六是成立了创新创业导师委员会,下设科技分会和金融分会,并聘请了贲德院士、都有为院士担任特聘顾问,朱洪波教授担任委员会主任,于宗光、王志坚等 80 多名专家教授分别担任副主任、创新创业导师。

路漫漫其修远兮,中国芯和龙芯的发展道路任重道远,需要更多的志同道合者奋然响应,砥砺前行。龙渊团队推广龙芯,不单单只是一个企业的商业化运作。我们基于开源开发,开发出来的应用系统也是开源的,方便二次开发。这都是为了使开发者和合作伙伴更好更方便地使用国产芯片,并加入国产芯片应用推广的队伍。我们也热切期待与更多的高校、科研机构和科技园区展开合作,并殷切期待更多的有志青年加入自主创新、科技创业的事业。

在多年对龙芯嵌入式开发和行业应用的探索过程中,我们积累了大量的经验甚至是失败的教训,从而完成了这本书的编写,希望藉此能对广大的龙芯爱好者和开发者有所帮助。本书的编写立项始于 2013 年,其中几易其稿甚至完全推倒重写,在东南大学出版社朱珉等老师的数十次督促下,今日终于完稿。究其原因,在于我们对本书的内容和质量一直抱有极其审慎的态度,生怕仅凭团队的绵薄之力和一知半解反而弄巧成拙,更希望能尽最大努力完成一本既体现龙芯嵌入式开发特色、又能方便开发者学习和交流的书籍,为国产芯片的著书立说和普及推广,探索一条理论与实践结合的新路。

本书主要内容是基于龙芯 SoC 芯片在嵌入式平台上的开发及应用实战,涉及嵌入式 Linux 系统的开发和移植、无线传感网技术和远程服务器的网络通信技术、移动应用平台开发等多方面内容。本书沿循从龙芯嵌入式芯片的特性介绍,到龙芯系列的芯片比较,再到针对不同行业应用的系统开发的学习实践思路,进行了较为深入全面的分析;同时,结合当前物联网领域的发展状况与市场前景,提出了在龙芯平台上应用开发的一套切实可行的技术学习方案,以及针对智能家居、智慧教

室、智能农业等领域的具体应用系统介绍。

本书内容分为五大部分:龙芯嵌入式系统开发基础、嵌入式开发环境及相关基础知识、基于龙芯 1B 开发板的嵌入式 Linux 编程开发、基于龙芯 1B 的项目实战,以及基于龙芯嵌入式开发的智能农业、智能制造等物联网应用产品和应用系统。本书适合具有一定嵌入式 Linux 系统基础知识的开发人员,计算机及通信等专业的在校学生,以及有单片机和嵌入式硬件开发经验、想深入学习嵌入式软件开发的从业人员。对于涉及计算机网络、Linux 操作系统方面的基础知识,我们只稍作介绍,不作深入分析。

第一部分是龙芯嵌入式系统开发的基础知识。介绍龙芯家族的嵌入式芯片发展状况,嵌入式开发的思想,主要针对龙芯 1B、龙芯 1C 两款芯片介绍主要硬件特性和使用的软件资源。

第二部分是嵌入式开发环境及相关基础知识。介绍开发环境的搭建,从 Ubuntu 虚拟机的安装,到交叉工具链的安装和主要调试工具的安装与使用。再从 Linux 系统的角度,介绍如何在龙芯平台上移植 Bootloader、Linux 内核、文件系统和应用程序,以及 OpenWrt 开源解决方案的使用。

第三部分是基于龙芯 1B 开发板的嵌入式 Linux 编程开发。主要是应用编程和驱动开发。应用编程有 Linux 基础编程、基于 QT 的图形界面编程,以及在嵌入式平台上的 Web 编程。驱动开发介绍了字符设备驱动、块设备驱动和 Linux 设备驱动中的主要机制。再从 ADC、外部按键和 RTC 几个具体的实例进行应用分析。

第四部分是基于龙芯 1B 的应用产品开发和实战。主要从智能农业温室大棚控制系统、智能家居和智慧教室、智慧校园等三个项目,对芯片的开发应用,进行了较为详细的说明。

第五部分是基于龙芯和自主物联网协议的嵌入式产品开发和应用方案。重点介绍了基于自主物联网无线通信协议 C-MAC 的远距离低功耗无线模块和基于龙芯和 C-MAC 协议的多种物联网应用产品和应用系统。

本书由陈勇和田广东、姜仲秋、杨战民、丁龙刚、覃章健、蔡阳波、尹云飞、步雨笋等编著,陈勇主审。本书相关工作得到了中国工程院院士倪光南、龙芯中科技术有限公司董事长胡伟武(龙芯 CPU 芯片总设计师)及嵌入式事业部总经理杜安利、中国电科集团首席专家于宗光、中国半导体协会集成电路设计分会副秘书长赵建忠等专家的指导和支持。倪光南院士亲自为本书撰写推荐函,胡伟武老师亲自为本书作序,龙芯团队张戈、乔崇、吴少校等多位龙芯核心技术骨干,细致审定了本书内容并提出详细的修改意见。

本书作为“国家信息技术紧缺人才工程(NITE)”的指定教材,也得到了国家工业和信息化部软件和集成电路促进中心多位领导和专家的指导和支持。此外,本书还得到了国家“万人计划”、科技部创新基金、科技部国家重点新产品计划、江苏省科技支撑计划、江苏省软件和信息服务业转型升级专项资金、江苏省科技厅未来网络前瞻项目、南京市科技发展计划等众多项目资助。

朱玉全、刘传清、沈文军、赵力、魏建香、王俊、刘荒健、程勇、孟迎军、徐楠、王婷、吴璇、吕敬彩等高校教授和合作伙伴,或参与了本书部分内容的编写,或提出了相当中肯的意见和建议。在编写过程中,还得到了耿霞、戚晨皓、傅晓、叶枫、宋南海、陆勇、刘毅、彭晓冰、郭林、吴海涛、金易琛、金健等师生和徐钊、陈士勇、许云龙、高尚、张威、赵明宏、朱颖、李伟红、张天才、张伟、熊保松、毛宇鹏等同事的支持和帮助。在此,特别向南京龙渊微电子科技有限公司、南京龙渊众创空间股份有限公司、淮安国家农业科技园区、亳州互联网+创业示范园和江苏龙睿、南京骞翮、南京燧霆、安徽龙渊众创、南京云天致信、南京勤茂、南京远控、嘉兴国自、宁波思迈科、常州思翔、亳州国自等产业链上下游的合作伙伴,江苏大学、南京邮电大学、南京航空航天大学、河海大学、东南大学、南京工程学院、南京工业职业技术学院、南京理工大学紫金学院、重庆大学、成都理工大学等 20 多所合作高校院所的相关同仁,以及所列参考文献的作者和单位,深表谢意。

囿于时间和能力所限,错误与疏漏之处在所难免。恳请各位专家和读者不吝赐教,批评斧正,我们将在本书的后续再版中予以改正。

编 者

2016 年 11 月

目 录

第 1 部分 龙芯嵌入式系统开发基础	(1)
1 龙芯嵌入式系统综述	(1)
1.1 嵌入式系统概述	(1)
1.2 龙芯 SOC 芯片简介	(1)
1.2.1 认识“龙芯”家族	(1)
1.2.2 龙芯嵌入式芯片介绍	(2)
1.3 嵌入式开发思想	(2)
1.4 龙芯嵌入式技术特点及功能	(3)
2 龙芯嵌入式开发资源	(4)
2.1.1 龙芯 1B/1C 处理器	(4)
2.1.2 龙芯 1B 通用核心板	(11)
2.1.3 龙芯 1B 开发板	(12)
2.2 软件资源	(13)
2.2.1 Bootloader 引导(PMON)	(13)
2.2.2 Linux 内核	(14)
2.2.3 OpenWrt 开源软件	(14)
2.2.4 Busybox/QT 图形应用方案	(14)
第 2 部分 嵌入式开发环境及相关基础知识	(15)
3 在主机上搭建 Linux 开发环境	(15)
3.1 安装 Ubuntu 10.04	(15)
3.2 建立交叉编译环境	(21)
3.3 常用调试工具安装与使用	(21)
4 基于龙芯 1B 的 Linux 系统移植	(27)
4.1 Bootloader 移植	(27)
4.2 Linux 内核移植	(28)
4.3 文件系统和应用程序移植	(29)
4.4 OpenWrt 开源嵌入式 Linux 操作系统使用	(32)
第 3 部分 基于龙芯 1B 开发板的嵌入式 Linux 编程开发	(33)
5 应用编程实验	(33)
5.1 Linux 基础实验	(33)
5.1.1 Shell 编程	(33)
5.1.2 文件操作实验	(36)
5.1.3 多线程实验	(40)

5.1.4	多进程实验	(42)
5.1.5	进程间通信实验	(44)
5.1.6	网络编程实验	(47)
5.2	基于 QT 的图形界面编程	(53)
5.2.1	tslib 移植	(53)
5.2.2	QT 源码编译	(54)
5.3	Nginx+php 的 Web 服务器搭建	(54)
5.3.1	相关库编译	(54)
5.3.2	Nginx 移植	(56)
5.3.3	php 移植	(59)
5.3.4	spawn-fcgi 移植	(60)
6	驱动开发	(61)
6.1	Linux 设备驱动基础	(61)
6.1.1	字符设备驱动	(61)
6.1.2	块设备驱动	(64)
6.1.3	Linux 设备驱动机制	(70)
6.2	基于龙芯 1B 开发板的驱动编程实例	(90)
6.2.1	ADC 驱动程序	(90)
6.2.2	外部按键驱动	(93)
6.2.3	RTC 驱动程序	(97)
第 4 部分 基于龙芯 1B 的项目实战		(105)
7	智能农业大棚控制系统	(105)
8	智能家居应用	(126)
8.1	智能家居系统概述	(126)
8.2	智能家居应用协议定义	(128)
8.3	智慧家居应用开发	(133)
8.4	智慧家居产品使用	(142)
8.4.1	龙渊多功能网关安装	(142)
8.4.2	人体传感器安装	(144)
8.4.3	门磁传感器安装	(146)
8.4.4	一位开关安装	(146)
8.4.5	PM2.5 检测器安装	(147)
8.4.6	调色灯安装	(147)
8.4.7	报警器安装	(148)
8.4.8	红外转发器安装	(149)
8.4.9	关于智慧家居各个终端设备复位操作	(149)
8.4.10	龙渊智慧家居 APP 使用	(149)
9	智慧教室	(154)
9.1	智慧实验室中控机	(154)
9.2	教务考勤管理系统	(155)

9.3	智能教学系统	(155)
9.4	设备管理系统	(156)
9.5	灯光控制系统	(156)
9.6	空调控制系统	(157)
9.7	窗帘控制系统	(157)
9.8	智能安防系统	(158)
9.9	门禁系统	(158)
9.10	管理软件	(159)
第5部分 基于龙芯嵌入式开发的产品和应用		(161)
10	自主物联网通信与组网协议 C-MAC 及超远距离无线模块	(161)
10.1	技术简介	(163)
10.1.1	技术先进性	(165)
10.1.2	硬件设计解决方案	(165)
10.1.3	软件开发解决方案	(166)
10.2	研究内容	(166)
10.3	关键技术	(166)
10.4	主要技术指标	(167)
10.5	创新内容	(168)
10.6	技术原理	(169)
10.7	技术路线	(170)
10.8	技术实现依据	(172)
10.9	已实现的指标	(174)
10.10	与同类产品对比	(174)
11	龙芯和自主协议的物联网通用传感器节点	(176)
11.1	技术简介	(177)
11.1.1	技术创新点	(177)
11.1.2	技术可行性与成熟度	(178)
11.2	研究内容	(180)
11.3	关键技术	(185)
11.4	性能指标	(186)
11.5	创新内容	(187)
11.6	技术原理	(188)
11.7	技术路线	(188)
11.8	技术实现依据	(189)
11.9	已实现的指标	(190)
11.10	与同类产品的对比	(191)
12	龙芯物联网网关、远距离无线基站	(192)
12.1	技术简介	(193)
12.1.1	关键技术	(193)
12.1.2	技术创新点	(193)

12.1.3 技术可行性与成熟度	(194)
12.2 研究内容及关键技术	(194)
12.3 主要技术与性能指标	(197)
12.4 创新内容	(198)
12.5 技术原理	(199)
12.6 技术路线	(200)
12.7 技术实现依据	(202)
12.8 已实现的指标	(203)
12.9 与同类产品比较	(203)
13 基于龙芯和自主协议的智能农业	(205)
13.1 技术简介	(209)
13.1.1 创新点	(209)
13.1.2 技术可行性与成熟度	(210)
13.2 研究内容	(210)
13.3 主要技术与性能指标	(213)
13.4 创新内容	(215)
13.5 技术原理	(216)
13.6 技术路线	(218)
13.7 技术实现依据	(223)
13.8 已实现的指标	(224)
13.9 与同类产品的对比	(225)
14 基于龙芯的工信部 NITE 指定教研实训系统	(226)
14.1 技术简介	(227)
14.1.1 硬件配置	(227)
14.1.2 核心技术创新点	(227)
14.1.3 技术可行性与成熟度	(228)
14.2 研究内容与关键技术	(228)
14.3 主要技术与性能指标	(237)
14.4 创新内容	(239)
14.5 技术原理	(241)
14.6 技术路线	(242)
14.7 技术实现依据	(244)
14.8 已实现的指标	(245)
14.9 与同类产品的对比	(245)
15 基于龙芯和自主协议的低价实用型智能家居	(247)
15.1 技术简介	(249)
15.2 研究内容	(251)
15.3 关键技术与创新点	(251)
15.4 主要技术与性能指标	(252)
15.5 技术原理	(253)
15.6 技术线路	(254)

15.7	技术实现依据	(257)
15.8	已实现的指标	(258)
15.9	与同类产品的对比	(259)
16	面向家庭、社区等领域老幼慢病远程健康监护系统	(260)
16.1	技术简介	(261)
16.1.1	创新点	(262)
16.1.1	技术可行性和成熟度	(262)
16.2	研究内容	(263)
16.3	关键技术	(264)
16.4	主要技术与性能指标	(264)
16.5	创新内容	(265)
16.6	技术路线	(267)
16.7	技术实现依据	(272)
16.8	已实现的指标	(273)
16.9	与同类产品的对比	(273)
17	基于国产软硬件技术的智能制造车间管理系统	(274)
17.1	技术简介	(275)
17.1.1	核心技术创新点	(275)
17.1.2	技术可行性和成熟度	(276)
17.2	研究内容	(277)
17.3	关键技术	(278)
17.4	主要技术与性能指标	(278)
17.5	创新内容	(279)
17.6	技术原理	(280)
17.7	技术路线	(281)
17.8	技术实现依据	(283)
17.9	已攻克的关键技术	(284)
17.10	与同类产品的比较	(286)
18	基于智能视觉传感网的大数据分析及应用平台	(287)
18.1	技术简介	(288)
18.1.1	核心技术创新点	(289)
18.1.2	技术可行性和成熟度	(289)
18.2	研究内容及关键技术	(290)
18.3	主要技术与性能指标	(291)
18.4	创新内容	(292)
18.5	技术原理	(293)
18.6	技术线路	(294)
18.7	技术实现依据	(300)
18.8	已实现的指标	(302)
18.9	与同类产品对比	(303)
	参考文献	(305)

第 1 部分 龙芯嵌入式系统开发基础

1 龙芯嵌入式系统综述

1.1 嵌入式系统概述

凡是电子发烧友和电脑爱好者都知道,英特尔(Intel)联合创始人戈登·摩尔(Gordon Moore)在 1965 年、1975 年相继提出、修正了著名的摩尔定律(Moore's Law):当价格不变时,集成电路上可容纳元器件的数目,约每隔 18~24 个月便会增加一倍,工艺特征尺寸缩小 1/2,性能也将提升一倍。集成电路从 MSI(中型集成电路)、LSI(大规模集成电路)发展到今天上亿个晶体管的 VLSI(超大规模集成电路),目前最先进的工艺设计尺寸已接近 10 nm,摩尔定律因为接近量子状态而几乎失效。然而,等待量子计算机被成功研制并投入商业化运营之前的漫长时间,VLSI 依然统治着 IC/IS(集成电路/集成系统)设计制造领域。相比面向个人电脑、服务器应用的通用 CPU 芯片,嵌入式系统(即片上系统 SOC, System-on-Chip)将复杂的电子系统集成到单一芯片上,系统架构主要包括微处理器/微控制器 CPU 内核模块、系统级芯片控制逻辑模块、数字信号 DSP 模块、存储模块、通信接口模块、电源功耗管理模块等。

1.2 龙芯 SOC 芯片简介

1.2.1 认识“龙芯”家族

“龙芯”是由中国科学院研发的第一款国产通用 CPU 芯片,“龙芯”的诞生被誉为民族科技产业化道路的一个里程碑。2001 年 5 月,中科院计算所开始立项研究。2002 年 8 月 10 日,我国首款 CPU 龙芯 1 号(代号 XIA50)流片成功。2003 年 10 月 17 日,我国首款四核 CPU 龙芯 3A(代号 PRC60)流片成功。目前,“龙芯”家庭包括了通用型和嵌入式芯片两大系列主要 9 个型号:龙芯 1 号(1A→1D),龙芯 2 号(2F→2H)和龙芯 3 号(3A→3B)。虽然与目前 Intel、AMD 等国际主流 CPU 芯片相比,“龙芯”性能还存在 5 年左右的代差,但这正是“龙芯”技术进步的不竭动力。

“龙芯”的商标名称最初是 Godson,后来正式注册为 Loongson。“龙芯”最独特的优势,既有相对优异的性价比,更重要的是“龙芯”在借鉴国内外先进技术的基础上,已形成相对成熟的 CPU 核心研发体系,为国产信息技术产业安全性提供强有力支撑。同时,“龙芯”实行源代码开源策略,龙芯所有的源代码都开放,在网络上完全可以下载到龙芯的各种源码,能够集中全世界电子、电脑技术爱好者的智慧。在开源的社区里,“龙芯”得到了 Linux 和 NOR 阵营的大力支持,被邀请纳入开源系统,甚至得到了专业团队和个人的技术维护,“龙芯”通



图 1.1 龙芯 logo