

高等院校计算机实验与实践系列示范教材

嵌入式FPGA/SoPC技术 实验与实践教程

汤书森 张北斗 安红心 常波 编著
马义德 审

清华大学出版社



高等院校计算机实验与实践系列示范教材

嵌入式FPGA/SoPC技术 实验与实践教程

汤书森 张北斗 安红心 常波 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分基本理论和实践两大部分。基本理论部分介绍了 FPGA 和 SoPC 的基本理论,Quartus II 软件的使用方法、基于 FPGA 的开发技术、Nios II 嵌入式系统开发过程、Nios II 的常用组件与编程和 SoPC 技术的应用。实践部分结合常用的开发实例介绍 IDE Quartus II 的设置,新建工程或文件、编译和下载文件的过程、方法及技巧。SOPC Builder 设计流程、Nios II 软核处理器、Nios II 软核处理器的配置方法。讲述了 Nios II 嵌入式软核处理器设计、SoPC 的软/硬件结合开发流程、Nios II 的开发平台和集成开发环境(IDE)特点和 Nios II 的外围接口等。

本书适合作为大学二年级以上的电子类、计算机类、自动化类和机电类等专业的本科生的教材或教学参考书,也可作为专业技术人员的培训参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式 FPGA/SoPC 技术实验与实践教程/汤书森等编著. —北京:清华大学出版社,2011.9
(高等院校计算机实验与实践系列示范教材)

ISBN 978-7-302-25725-7

I. ①嵌… II. ①汤… III. ①可程序逻辑器件—高等学校—教材 IV. ①TP332.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 107455 号

责任编辑:郑寅堃 顾 冰

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12.5 字 数:309 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版 印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:21.00 元

产品编号:036984-01

出版说明

当前,重视实验与实践教育是各国高等教育界的发展潮流,我国与国外教学工作的差距也主要表现在实践教学环节上。面对新的形式和新的挑战,完善实验与实践教育体系成为一种必然。为了培养具有高质量、高素质、高实践能力和高创新能力的人才,全国很多高等院校在实验与实践教学方面进行了大力改革,在实验与实践教学内容、教学方法、教学体系、实验室建设等方面积累了丰富的宝贵经验,起到了教学示范作用。

实验与实践性教学与理论教学是相辅相成的,具有同等重要的地位。它是在开放教育的基础上,为配合理论教学、培养学生分析问题和解决问题的能力以及加强训练学生专业实践能力而设置的教学环节;对于完成教学计划、落实教学大纲,确保教学质量,培养学生分析问题、解决问题的能力 and 实际操作技能更具有特别重要的意义。同时,实践教学也是培养应用型人才的重要途径,实践教学质量的好坏,实际上也决定了应用型人才培养质量的高低。因此,加强实践教学环节,提高实践教学质量,对培养高质量的应用型人才至关重要。

近年来,教育部把实验与实践教学作为对高等院校教学工作评估的关键性指标。2005年1月,在教育部下发的《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》中明确指出:“高等学校要强化实践育人的意识,区别不同学科对实践教学的要求,合理制定实践教学方案,完善实践教学体系。要切实加强实验、实习、社会实践、毕业设计(论文)等实践教学环节,保障各环节的时间和效果,不得降低要求。”“要不断改革实践教学内容,改进实践教学方法,通过政策引导,吸引高水平教师从事实践环节教学工作。要加强产学研合作教育,充分利用国内外资源,不断拓展校际之间、校企之间、高校与科研院所之间的合作,加强各种形式的实践教学基地和实验室建设。”

为了配合开展实践教学及适应教学改革的需要,我们在全国各高等院校精心挖掘和遴选了一批在计算机实验与实践教学方面具有潜心研究并取得了富有特色、值得推广的教学成果的作者,把他们多年积累的教学经验编写成教材,为开展实践教学的学校起一个抛砖引玉的示范作用。

为了保证出版质量,本套教材中的每本书都经过编委会委员的精心筛选和

严格评审,坚持宁缺毋滥的原则,力争把每本书都做成精品。同时,为了能够让更多、更好的实践教学成果应用于社会和各高等院校,我们热切期望在这方面有经验和成果的教师能够加入到本套丛书的编写队伍中,为实践教学的发展和取得成效做出贡献;也衷心地期望广大读者对本套教材提出宝贵意见,以便我们更好地为读者服务。

清华大学出版社

联系人:索梅 suom@tup.tsinghua.edu.cn

随着微电子技术和计算机技术的发展,可编程逻辑器件、EDA 技术、嵌入式系统、SoC、SoPC 和 IP 核等新概念和新技术层出不穷,新技术的应用迅速渗透到电子、通信、信息、机械制造、仪器仪表、航空航天及家用电器等领域,有力地推动了社会生产力的发展和社会信息化程度的提高。微电子技术(即大规模集成电路加工技术)的发展是现代电子技术发展的基础。目前,在硅片单位面积上集成的晶体管数量越来越多,原来需要成千上万只电子元器件组成的电子设备电路,现在仅用几片或单片超大规模集成电路就可以实现。

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术、电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物,这一特点决定了它是一个技术密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。嵌入式系统课程又是一门多学科交叉的课程,涉及微机原理与接口、计算机组成原理、操作系统、编译技术、网络通信、人机交互、软件测试、软硬件协同设计等诸多知识点,授课内容概括性强。现在是后 PC 时代,作为电子信息技术、计算机专业,掌握嵌入式系统是一门必需的技术。嵌入式系统是 IT 行业中重要的应用领域。为了适应新形势的要求,以与时俱进的教学理念进行教学实践。

由于近几年来,众多的嵌入式系统新产品不断问世,国内外各大 IT 公司纷纷投入巨资加紧研发,后 PC 时代的来临,促进了科技进步和经济发展。伴随着通信网络、计算机技术和微电子技术的高速发展,嵌入式系统已成为 IT 业的一个焦点。同时在数字信息技术和网络技术高速发展的后 PC 时代,嵌入式系统因其体积小、可靠性高、功能强、灵活方便等诸多优点,已渗透到工业、军事、医疗以及日常生活等各个领域,对各行各业的技术改造、产品更新换代、加速自动化进程和提高生产率等方面起到了极其重要的推动作用。

另外,嵌入式领域的迅速发展,使得 FFGA 作为主芯片的嵌入式应用方向已被逐渐接受,在国内高校之中已有部分高校开设了 FPGA 和 SoPC 的课程;但是嵌入式领域又是以实验为中心任务的,因此在 FPGA 和 SoPC 的教学中不应死读教材而应该通过大量的实验练习,才能快速理解基本的理论知识,并提高动手能力。

SoPC(System on a Programmable Chip)称为可编程片上系统,它基于可编程逻辑器件(FPGA 或 CPLD)可重构的片上系统(SoC)。SoPC 集成了硬核或软核 CPU、DSP、锁相环(PLL)、存储器、I/O 接口及可编程逻辑,可以灵活高效地

解决 SoC 方案,而且设计周期短,设计成本低。目前,SoPC 技术已成为备受众多中小企业、研究所和大专院校青睐的设计技术,是实现嵌入式系统的最高形式。SoC 设计技术将是 21 世纪的技术发展趋势,是现在高校和社会嵌入式培训班必需的内容和亮点。目前,SoPC 技术已成为备受众多企业、研究所和大专院校青睐的设计技术(国内有近 60 几所高效开展了 Verilog 语言课程和基于 Altera SoPC 的(联合实验室)实验教学)。

EDA/SoPC 技术是进入 21 世纪以来发展最迅猛的电子设计技术之一,以其设计灵活、可裁剪、软硬件可编程等特点和优势,备受设计者关注。随着信息技术的发展普及以及市场强有力的驱动,设计需求日趋多样化,系统设计越来越复杂,开发时间越来越紧迫。利用已有 IP 核是快速实现应用系统,缩短产品开发周期的有效途径。Altera 的 Nios II 是用户可以随意配置核构建的 32 位嵌入式处理器 IP 核,采用 Avalon 总线结构通信接口,包含由 FS2(First Silicon Solutions 公司。FS2 公司专门致力于芯片知识产权(IP)、设计服务和针对 SoC、SoPC、FPGA、ASSP 和 ASIC 器件的编程、测试、调试和嵌入式跟踪片上仪器的开发工具)开发的基于 JTAG 的片内设备内核。使用 Nios II 处理器的用户可以根据他们的需要来调整嵌入式系统的特性、性能以及成本,快速使得产品推向市场,扩展产品的生命周期,并且避免处理器的更新换代。

SoPC 的整体解决方案以及 Nios 软核概念的提出,彻底颠覆了传统嵌入式系统的设计理念,从硬件和软件整体设计上将嵌入式系统的设计进行了极大地推动,使得嵌入式系统的硬件设计更加简单高效、易于理解,软件设计更加可视化、可移植性更强。嵌入式学习必须以实验为中心,因此应该在 FPGA 及 SoPC 的教学中通过大量的实验练习才能快速理解理论知识。

本书使用的是 Quartus II 9.0 Free 版精选了几个有代表性的实验,通过练习不仅可以掌握工具的使用,还可以达到掌握基于 FPGA 及 SoPC 技术的嵌入式系统设计的理论知识的目。首先基于当前流行的集成开发环境 ADS,使读者渐渐进入角色,同时以实例的形式掌握 C 语言与汇编的混合编程编译与调试,在练习的过程中掌握工具的使用、硬件知识及软件编程方法。本书力图在总体结构和内容编排上具有系统性、启发性和实用性,做到由浅入深、循序渐进、易于入门,便于自学和适于教学。在做实验的过程中,领会和掌握基本理论知识,在完成实验后争取达到理论的升华。一本教材同时也应该是一本好的参考书,能够提供许多的资源。综合创新实验则以基本实验为基础与实际应用相结合,由学生自行设计,自由发挥。旨在注重培养学生的动手能力,发现问题和解决问题的能力。目的是培养复合型、创新性新世纪人才。“创新是一个民族进步的灵魂,是一个国家兴旺发达的不竭动力”。

“微机原理与接口技术”、“嵌入式系统”、DSP 及 SoPC 等系列实践教程是围绕甘肃省教学成果“嵌入式系统课程群建设及创新型人才培养”而展开的。非常感谢我的导师马义德教授的引导、帮助和鼓励,以及其他老师和同仁的帮助和指导。

作 者

2011 年 6 月

第 1 部分 基本理论

第 1 章 绪论	3
1.1 嵌入式系统简介	3
1.2 FPGA 简介	5
1.3 SoPC 技术简介	11
1.4 硬件描述语言及其程序的基本架构	15
1.5 基于 FPGA/SoPC 实现嵌入式系统概述	17
第 2 章 Altera 可编程器件与 Quartus II 软件应用	19
2.1 Altera 可编程逻辑器件	19
2.2 Quartus II 简介	24
2.3 Quartus II 的安装过程与使用	25
2.4 Quartus II 设计流程	25
第 3 章 Avalon 总线与 Nios II 处理器	27
3.1 Avalon 总线	27
3.2 Nios II 嵌入式处理器	31
3.3 Nios II 体系架构	35
第 4 章 基于 SoPC 的 Nios II 处理器设计	37
4.1 SOPC Builder 简介	37
4.2 SOPC Builder 的组成与功能	37
4.3 基于 SOPC Builder 解决嵌入式处理器外设设计面临的挑战	38
4.4 参数模块库的使用	40
4.5 基础预备实验示例	40

第2部分 基本实验

第5章 Quartus II 和 SignalTap II 的使用	77
5.1 实验预备	77
5.2 实验目的	78
5.3 实验内容	79
5.4 实验原理	79
5.5 实验步骤	81
思考题	88
第6章 Hello_word 实验及 SoPC 设计基础	89
6.1 实验目的	89
6.2 实验内容	89
6.3 实验原理	89
6.4 实验步骤	92
思考题	112
第7章 LED 实验	113
7.1 实验目的	113
7.2 实验内容	113
7.3 实验原理	113
7.4 实验步骤	115
第8章 自定义 IP 核——点阵驱动	126
8.1 实验目的	126
8.2 实验内容	126
8.3 实验原理	126
8.4 实验步骤	127
第9章 软硬件结合设计	135
9.1 实验目的	135
9.2 实验内容	135
9.3 实验原理	135
9.4 实验步骤	137
第10章 基于实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS II}$ 多任务系统	139
10.1 实验目的	139
10.2 实验内容	139

10.3	实验原理	139
10.4	实验步骤	140
第 11 章	工程实践项目——基于 DDS 的正弦信号发生器	147
11.1	实验目的	147
11.2	实验内容	147
11.3	实验原理	147
11.4	实验步骤	149
第 12 章	基于 MCU511P 软核的嵌入式系统设计	157
12.1	实验目的	157
12.2	实验内容	157
12.3	实验原理	158
12.4	实验步骤	159
第 3 部分 创新与自主设计		
第 13 章	自主设计巩固与提高	167
13.1	Exercise 1 流水灯实验	167
13.2	Exercise 2 关于 JTAG UART 通信	168
13.3	Exercise 3 LCD MODULE(LCM)显示实验	169
第 14 章	自主设计实例方案	172
14.1	基于 FPGA 技术的实时视频监控系统	172
14.2	基于 FPGA 技术的电子相册设计	173
14.3	基于 FPGA 技术的 MP3 音乐播放器	174
14.4	基于 FPGA 技术的软件无线电平台	174
14.5	基于 FPGA 技术的对讲机设计	175
附录 A	网络资源及专业网站、FPGA 开发博客信息	177
附录 B	实验中常见错误及处理办法	178
参考文献	186
后记	187

基本理论

本部分包括第 1~4 章,介绍嵌入式系统、FPGA、SoPC 及 SOPC Builder 的基本概念和理论。掌握这部分内容,将为后续的实验打好基础。

1.1 嵌入式系统简介

在许多领域中广泛应用的嵌入式计算机系统简称嵌入式系统,它是在更大的电子器件或设备中嵌入的重复完成特定功能的计算机系统。嵌入式系统本质上就是计算机系统——一种特殊的专用计算机系统。

在现今的数字系统设计中,以“嵌入式微控制器+FPGA”为核心的体系结构因其强大的处理能力和灵活的工作方式而被广泛采用。嵌入式微控制器的优势在于将微处理器内核与丰富多样的外围接口设备紧密结合,在提供强大的运算、控制功能的同时,降低了系统成本和功耗,因而适合作为数字系统的控制核心;FPGA的优势在于超高速、丰富的逻辑资源以及用户可灵活配置的逻辑功能,适用于逻辑接口功能多种多样、灵活可变的场合。将二者结合形成优势互补,如有需要,再配以适当的专用芯片(如音视频编解码器、数字调制解调器等)。这种体系结构适用于大多数复杂数字系统的设计。

1. 基本概念

根据 IEEE 的定义,嵌入式系统是“控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装置”。

按照历史性、本质性、普遍性要求,嵌入式系统应定义为:“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。

按照一般性定义,嵌入式系统是以具体应用为中心,以计算机技术为基础,采用可裁减的软硬件,适用于对功能、可靠性、成本、体积和功耗等有严格要求的专用计算机系统。

在明确了嵌入式系统定义的基础上,可从以下几方面来理解嵌入式系统。

(1) 嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,是与应用紧密结合的,它具有很强的专用性,必须结合实际系统需求进行合理的裁减利用。嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起,它的升级换代也是和具体产品同步进行,因此嵌入式系统产品一旦进入市场,具有较长的生命周期。

(2) 嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物。这一点就决定了它必然是一个

技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

(3) 嵌入式系统必须根据应用需求对软硬件进行裁剪,满足应用系统的功能、可靠性、成本和体积等要求。为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机本身中,而不是存储于磁盘等载体中。

(4) 嵌入式系统本身不具备自主开发能力,即使设计完成以后用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改的,必须有一套开发工具和环境才能进行开发。

实际上,凡是与产品结合在一起的具有嵌入式特点的控制系統,都可以叫嵌入式系统。现在人们讲嵌入式系统时,在某种程度上是指近些年比较流行的具有操作系统的嵌入式系统。为了把握嵌入式系统与PC的区别与联系,把PC与嵌入式系统做个比较,如表1.1和表1.2所示。

表 1.1 硬件平台的比较

设备名称	嵌入式系统	PC
CPU	嵌入式处理器(ARM、MIPS)	CPU(Intel 的 Pentium、AMD 的 Athlon 等)
内存	SDRAM 芯片	SDRAM 或 DDR 内存条
存储设备	Flash 芯片	硬盘
输入设备	触摸屏、按键	鼠标、键盘和麦克等
输出设备	LCD	显示器
接口	MAX232 等芯片	主板集成
其他设备	音频芯片、USB 芯片和网卡芯片等	主板集成或外接卡

表 1.2 软件开发环境的比较

名称	嵌入式系统	PC
引导代码	Bootloader 引导,针对不同电路进行移植	主板的 BIOS 引导,无需改动
操作系统	Linux、WinCE 和 VxWorks 等,需要移植	Windows、Linux 等,无需移植
驱动程序	每个设备驱动针对电路板进行开发或移植,一般不能直接下载使用	操作系统包含大多数驱动程序,或下载直接使用
开发环境	交叉编译	本机编译
仿真器	需要	不需要
协议栈	需要移植	操作系统或第三方提供

2. 嵌入式系统的特点

嵌入式系统是以具体应用为中心,以计算机技术为基础,采用可裁减的软硬件,适用于对功能、可靠性、成本、体积和功耗等有严格要求的专用计算机系统。它具有以下特点。

(1) 嵌入式系统是应用于特定环境下,针对特定用途来设计的系统,是“专用”的计算机系统,所以不同于通用计算机系统。它的硬件和软件都必须高效率地设计、“量体裁衣”、去除冗余,力争在较少的资源上实现更高的性能。

(2) 嵌入式系统的目标代码通常是固化在非易失性存储器(ROM、EPROM、EEPROM 和 Flash)芯片中。

(3) 嵌入式系统使用的操作系统一般是实时操作系统(Real-Time Operating System, RTOS),系统有实时约束。

(4) 嵌入式系统比通用 PC 系统资源少得多。

(5) 嵌入式系统“嵌入”到对象的体系中,对对象、环境和嵌入式系统自身具有严格的要求,一般的嵌入式系统具有低功耗、体积小、集成度高和成本低等特点。

(6) 嵌入式系统开发需要开发工具和环境。由于其本身不具备自主开发能力,即使设计完成以后,用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改,必须有一套开发工具和环境才能进行开发。

(7) 建立完整的嵌入式系统的系统测试和可靠性评估体系,保证嵌入式系统高效、可靠、稳定地工作。

3. 基于 ARM 的嵌入式系统软件开发简介

ARM(Advanced RISC Machines)既是一个公司的名字,也是对一类微处理器的统称。ARM 是微处理器行业的一家知名企业,设计了大量高性能、廉价、耗能低的 RISC 处理器、相关技术及软件。技术具有性能高、成本低和能耗省的特点。适用于多种领域,如嵌入控制、DSP 和移动式应用等。

ARM 公司是专门从事基于 RISC 技术芯片设计开发的公司,作为知识产权供应商,本身不直接从事芯片生产,靠转让设计许可由合作公司生产各具特色的芯片,世界各大半导体生产商从 ARM 公司购买其设计的 ARM 微处理器核,根据各自不同的应用领域,加入适当的外围电路,从而形成自己的 ARM 微处理器芯片进入市场。目前,全世界有几十家大的半导体公司都使用 ARM 公司的授权,因此即使 ARM 技术获得更多的第三方工具、制造、软件的支持,又使整个系统成本降低,使产品更容易进入市场被消费者所接受。

用户选用 ARM 处理器开发嵌入式系统时,选择合适的开发工具可以加快开发进度,节省开发成本。因此一套含有编辑软件、编译软件、汇编软件、链接软件、调试软件、工程管理及函数库的集成开发环境(IDE)一般来说是必不可少的,至于嵌入式实时操作系统、评估板等其他开发工具则可以根据应用软件规模和开发计划选用。使用集成开发环境开发基于 ARM 的应用软件,包括编辑、编译、汇编、链接等工作全部在 PC 上即可完成,调试工作则需要配合其他模块或产品方可完成。

ADS 全称为 ARM Developer Suite,是 ARM 公司推出的新一代 ARM 集成开发工具。现在 ADS 的最新版本是 2.5.1,它取代了早期的 ADS1.1 和 ADS1.0。它除了可以安装在 Windows NT4,Windows 2000 操作系统下,还支持 Windows XP 和 Windows Me 操作系统。

ADS 由命令行开发工具,ARM 实时库,GUI 开发环境(Code Warrior 和 AXD),实用程序和支持软件组成。有了这些部件,用户就可以为 ARM 系列的 RISC 处理器编写和调试自己的开发应用程序了。

ARM 应用软件的开发工具根据功能的不同,分别有编译软件、汇编软件、链接软件、调试软件、嵌入式实时操作系统、函数库、评估板、JTAG 仿真器、在线仿真器等,目前世界上有四十多家公司提供以上不同类别的产品。

1.2 FPGA 简介

1. ASIC

ASIC(Application Specific Integrated Circuits,专用集成电路)是指应特定用户要求和

特定电子系统的需要而设计、制造的集成电路。目前用 CPLD(复杂可编程逻辑器件)和 FPGA(现场可编程逻辑阵列)来进行 ASIC 设计是最为流行的方式之一,它们的共性是都具有用户现场可编程特性,都支持边界扫描技术,但两者在集成度、速度以及编程方式上具有各自的特点。ASIC 的特点是面向特定用户的需求,品种多、批量少,要求设计和生产周期短,它作为集成电路技术与特定用户的整机或系统技术紧密结合的产物,与通用集成电路相比具有体积更小、重量更轻、功耗更低、可靠性提高、性能提高、保密性增强、成本降低等优点。

2. FPGA

FPGA(Field Programmable Gate Array,现场可编程门阵列),是在 PAL、GAL、EPLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物。它是作为 ASIC 中的一种半定制电路而出现的,既解决了定制电路的不足,又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点。它已经从最初的可编程逻辑器件发展到当今的可编程系统,以其丰富的可编程资源成为系统设计的平台。

FPGA 是 ASIC 中集成度最高的一种,用户可对 FPGA 内部的逻辑模块和 I/O 模块重新配置,以实现用户的逻辑,因而也被用于对 CPU 的模拟。用户对 FPGA 的编程数据放在 Flash 芯片中,通过上电加载到 FPGA 中,对其进行初始化。也可在线对其编程,实现系统在线重构,这一特性可以构建一个根据计算任务不同而实时定制的 CPU。FPGA 是一种大规模可编程逻辑器件,它的体系结构和逻辑单元灵活、集成度高以及适用范围宽,并且设计开发周期短、设计制造成本低、开发工具先进、标准产品无须测试、质量稳定以及可实时在线检验,因此被广泛应用于产品的原型设计和产品生产(一般在 10 000 件以下)之中。

自 1985 年第一片现场可编程逻辑器件(FPGA)问世至今,FPGA 已经历了 20 年的发展历史。在这 20 年的发展过程中,以 FPGA 为代表的数字系统现场集成技术发展迅猛:现场可编程逻辑器件从最初的 1200 门,发展到现在的几百万门,器件的集成度提高到一个新的水平。尤其是最近几年,FPGA 的主要厂商 Altera、Xilinx 等不断更新优化产品架构和生产工艺,不断降低 FPGA 的功耗和系统成本,推出了很多高性能低价位的解决方案,将市场从传统的高端通信扩展到汽车和消费类电子产品。与此同时,FPGA 也出现了一些不同的发展方向和趋势。

先进的 90nm 制造工艺在物理上达到了一个新的极限,这对于 FPGA 厂商来说是一个新的挑战。但是,克服了这一极限的挑战后,产品成熟量产,将大大降低 FPGA 的功耗和成本。Altera 的 Cyclone II 器件就是采用 90nm 成熟的生产工艺,容量从 4608~68 416 个逻辑单元(LE),能够在价值 0.35 美元的逻辑单元上实现超过 100MIPS 的性能。Altera 已经开始向 65nm 进军。Xilinx 的 Spantan-3 系列也是采用 90nm 生产,5 万门的价格仅为 3.5 美元,100 万门的价格不到 20 美元,而 400 万门的价格低于 100 美元,兼具高性能、成品可用性以及低成本特点。

FPGA 技术含量正以惊人的速度上升。电子类的新技术项目的开发更多地依赖于 FPGA 技术的应用,特别是随着 HDL 等硬件描述语言综合工具功能和性能的提高,计算机中许多重要的元件,包括 CPU,都用硬件描述语言来设计和表达,许多微机 CPU,硬核嵌入式系统(如 ARM、MIPS)、软核嵌入式系统(如 Nios II),大型 CPU,乃至整个计算机系统都用 FPGA 来实现。与 CPLD 相比,FPGA 可以提供更高的逻辑密度、更丰富的特性和更高

的性能。

从本质上来讲,FPGA 更像一个应用平台,客户可根据自己的需要在平台上做自己的设计和产品定义。随着各种不同的新应用层出不穷,复杂性越来越大,客户对速度、功能、效率的要求越来越高,因此 FPGA 也将集成越来越多的 IP 模块和功能,如高速 I/O 口、收发器、大容量存储器以及 DSP 模块。

作为一个基于高端技术的行业,FPGA 的发展前景显然是非常广阔的,业内的专家们不拘泥于固有的平台,新的设计思路和方法不断涌现,新的应用市场不断拓展,而挑战则意味着更大的机遇,这绝对是一个非常值得关注和期待的行业。

从系统对上市时间的要求、可编程的特性及集成等方面考虑,用 FPGA 来实现可配置的嵌入式系统已经越来越广泛。

FPGA 与 ASIC 的对比见表 1.3。

表 1.3 FPGA 与 ASIC 的对比

FPGA	ASIC
适于批量生产	适于中度规模及大批量生产
编程方式可变,灵活	设计不可变
NRE(Non Recurring Engineering 一次性工程费用)费用小	工具和掩模板的 NRE 成本高
开发周期短	开发周期长
只适用于数字电路	适用于数字电路和混合信号电路
功耗大	较低的功耗

3. CPLD

CPLD(Complex Programmable Logic Device,复杂可编程逻辑器件)代表的是一种可编程逻辑器件,它可以在制造完成后由用户根据自己的需要定义其逻辑功能。SoC 是个整体的设计方法概念,它指的是一种芯片设计方法,集成了各种功能模块,每一种功能都是由硬件描述语言设计程序,然后在 SoC 内由电路实现的;每一个模块不是一个已经设计成熟的 ASIC“器件”,只是利用芯片的一部分资源去实现某种传统的功能。这种功能是没有限定的,可以是存储器,当然也可以是处理器。与 FPGA 相比,CPLD 提供的逻辑资源少得多,上限为一万门左右。但 CPLD 可预测性好,对于关键的控制应用非常理想。而且 CPLD 器件功耗相对较低而且价格低廉,使其在成本敏感的、电池供电的便携式应用(如移动电话和数字手持助理)中非常理想。

CPLD 与 FPGA 的对比见表 1.4。

4. FPGA 的结构与原理

FPGA 采用了逻辑单元阵列(Logic Cell Array,LCA)这样一个新概念,内部包括可配置逻辑模块(Configurable Logic Block,CLB)、输入输出模块(Input Output Block,IOB)和内部连线(Interconnect)三个部分。FPGA 的基本特点主要有:

- (1) 采用 FPGA 设计 ASIC 电路,用户不需要投片生产就能得到合用的芯片。
- (2) FPGA 可做其他全定制或半定制 ASIC 电路的中试样片。
- (3) FPGA 内部有丰富的触发器和 I/O 引脚。
- (4) FPGA 是 ASIC 电路中设计周期最短、开发费用最低、风险最小的器件之一。