

FPGA 嵌入式项目开发

刘博文 张军 何勇 编著

三位一体 实战 精讲



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



DVD-ROM INCLUDED

光盘含 **300分钟** 视频讲解

三位一体实战精讲系列丛书

FPGA 嵌入式项目开发 三位一体实战精讲

刘博文 张 军 何 勇 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

全书以项目背景为依托,通过大量实例,深入浅出地介绍了 FPGA 嵌入式项目开发的方法与技巧。全书共分 17 章,第 1~3 章为开发基础知识,简要介绍了 FPGA 芯片、编程语言以及常用开发工具,引导读者技术入门;第 4~17 章为应用实例,通过 14 个实例,详细阐述了 FPGA 工业控制、多媒体应用、消费电子与网络通信领域的开发原理、流程思路和技巧。实例全部来自于工程实践,代表性和指导性强,读者通过学习后举一反三,设计水平将得到快速提高,完成从入门到精通的技术飞跃。

本书内容丰富,结构合理,实例典型。不但详细介绍了 FPGA 嵌入式的硬件设计和软件编程,而且提供了完善的设计思路与方案,总结了开发经验和注意事项,并对实例的程序代码做了详细注释,方便读者理解精髓,学懂学透,快速学以致用。

本书配有光盘一张,包含全书所有实例的硬件原理图、程序代码以及开发过程的语音视频讲解,方便读者进一步巩固与提高。本书适合计算机、自动化、电子及硬件等相关专业的大学生,以及从事 FPGA 开发的科研人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

FPGA 嵌入式项目开发三位一体实战精讲 / 刘波文, 张军, 何勇编著. —北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.5

ISBN 978-7-5124-0702-2

I. ①F… II. ①刘… ②张… ③何… III. ①可编程
序逻辑器件—系统设计 IV. ①TP332.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 005939 号

版权所有,侵权必究。

FPGA 嵌入式项目开发三位一体实战精讲

刘波文 张 军 何 勇 编著

责任编辑 苗长江 王 彤

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:32.5 字数:711 千字

2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-5124-0702-2 定价:69.00 元(含光盘 1 张)

前 言

FPGA 是现场可编程门阵列(Field Programable Gate Array)的简称,是常用的嵌入式处理器之一,是在 PAL、GAL、CPLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物,是作为专用集成电路 ASIC 领域中的一种半定制电路而出现的。FPGA 技术的出现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,现在广泛应用于工业控制、多媒体、消费电子、网络通信等领域。目前市场上同类的 FPGA 书虽然很多,但要么主要介绍编程语言和开发工具,要么从技术角度讲解一些实例,工程应用及针对性不强;同时仅仅停留于书面文字介绍上,图书周边的服务十分空白,读者获取价值受限。为了弥补这种不足,本书重点围绕应用和实用的主题展开介绍,提供给读者三位一体的服务:实例+视频+开发板,使读者的学习效果最大化。

本书内容安排

全书共包括 5 篇 17 章,主要内容安排如下:

第 1 篇(第 1~3 章)为基础知识,简要介绍了 FPGA 的特点、应用、体系结构、常用芯片以及常用开发工具。读者将对 FPGA 技术特点有一些入门性的了解,为后续的实例学习打好基础。

第 2 篇至第 5 篇(第 4~17 章)为项目实例,重点通过 14 个实例,详细深入地阐述了 FPGA 的项目开发应用。具体包括 2 个工业控制实例、3 个多媒体开发实例,5 个消费电子实例、4 个网络与通信实例。这些项目实例典型,类型丰富,覆盖面广,全部来自于实践并且调试通过,代表性和指导性强,是作者多年开发经验的总结。读者学习后举一反三,设计水平可以快速提高,快速步入高级工程师的行列。

本书主要特色

与同类型书相比,本书主要具有下面的特色:

(1) 强调实用和应用两大主题:实例典型丰富、技术流行先进,不但详细介绍了 FPGA 的硬件设计和软件编程,而且提供了完善的设计思路与方案,总结了开发心得和注意事项,对实例的程序代码做了详细注释,帮助读者掌握开发精要,学懂学透。

(2) 注重三位一体:实例+视频+开发板。除了实例讲解注重细节外,光盘中还提供全书实例的开发思路、方法和过程的语音视频讲解,手把手地指导读者温习巩固所学知识。

此外,提供有限赠送图书配套开发板活动。为促进读者更好地学习 FPGA,作者还设计制作了配套开发板,有需要的读者通过发邮件(powenliu@yeah.net)进行问题验证后即可得到,物超所值。

本书适合高校计算机、自动化、电子及硬件等相关专业的大学生,以及从事 FPGA 开发的科研人员使用,是学习 FPGA 项目实践的最理想的参考指南。

全书主要由刘波文、张军、何勇编写,另外参加编写的人还有:黎胜容、黎双玉、邱大伟、赵汶、刘福奇、罗苑棠、陈超、黄云林、孙智俊、郑贞平、张小红、曹成、陈平、喻德、高长银、李万全、刘江、马龙梅、邓力、王乐等。在此一并表示感谢!

由于时间仓促,再加之作者的水平有限,书中难免存在一些不足之处,欢迎广大读者批评和指正。

作者

2012 年 1 月



第 1 篇 FPGA 基础知识篇

第 1 章 FPGA 入门了解	3
1.1 FPGA 特点和应用	3
1.2 FPGA 体系结构	4
1.2.1 FPGA 基本结构	4
1.2.2 FPGA 的结构特点	8
1.2.3 FPGA 的编程工艺	10
1.3 FPGA 常用芯片与选用	10
1.3.1 FPGA 常用芯片	10
1.3.2 FPGA 器件的选用	13
第 2 章 集成开发工具 MAX+plus II	16
2.1 功能与菜单说明	16
2.2 MAX+plus II 设计过程	20
2.3 MAX+plus II 综合设计选择项	37
2.3.1 LPM 库的使用	37
2.3.2 项目层次结构与文件系统	40
2.3.3 全局逻辑综合方式	41
2.3.4 设置全局定时要求、定时分析	44
2.3.5 与第三方 EDA 软件接口	46
2.3.6 设置器件的下载编程方式	48
2.3.7 FPGA 器件烧写方法	50
第 3 章 Quartus II 使用详解	53
3.1 Quartus II 设计流程	53
3.2 Quartus II 设计方法	57
3.2.1 自上而下与自下而上的设计方法比较	58
3.2.2 自上而下的渐进式编译设计流程	58
3.2.3 自下而上的渐进式编译设计流程	59
3.3 Quartus II 各功能详解	59
3.3.1 使用模块编辑器	59

3.3.2 项目设置	60
3.3.3 时序分析报告	62
3.3.4 仿 真	63
3.3.5 下 载	65
3.4 时序约束与分析	68
3.4.1 时序约束与分析基础	68
3.4.2 设置时序约束的方法	70
3.4.3 最小化时序分析	73
3.5 设计优化	75
3.5.1 优化流程	75
3.5.2 使用 DSE	75
3.5.3 设计优化的初次编译	77
3.5.4 资源利用优化	80
3.5.5 I/O 时序优化	81
3.5.6 最高时钟频率优化	83
3.6 SignalTap II	83
3.6.1 设计中创建 SignalTap II	83
3.6.2 通过 SignalTap II 察看数据	85
3.6.3 SignalTap II 的高级配置	86

第 2 篇 工业应用开发实例

第 4 章 步进电机驱动系统设计	91
4.1 步进电机系统概述	91
4.1.1 步进电机的种类	91
4.1.2 步进电机的工作原理	92
4.1.3 步进电机的主要技术指标	93
4.1.4 步进电机的驱动控制系统	95
4.2 步进电机驱动器接口电路	96
4.2.1 ULN2003 达林顿芯片概述	96
4.2.2 步进电机驱动器硬件电路	96
4.3 硬件系统设计	97
4.3.1 创建 Quartus II 工程项目	97
4.3.2 创建 SOPC 系统	98
4.3.3 生成 Nios II 系统	105
4.3.4 创建顶层模块并添加 PLL 模块	108
4.4 软件设计与程序代码	112
4.4.1 创建 Nios II 工程	112

4.4.2 程序代码设计与修改	113
4.5 实例总结	116
第5章 工业数字摄像机应用设计	117
5.1 工业数字摄像机概述	117
5.1.1 系统原理及总体设计结构	117
5.1.2 图像传感器 MT9P031 简述	118
5.2 图像传感器与 FPGA 硬件接口电路设计	122
5.3 工业数字摄像机系统软件设计	124
5.3.1 创建 Quartus II 工程项目	124
5.3.2 创建 PLL 宏模块	124
5.3.3 创建 FIFO	125
5.3.4 I ² C 总线接口控制器	129
5.3.5 DE2_D5M 主程序	131
5.3.6 工业数字摄像机系统原理图连线	137
5.3.7 引脚配置	137
5.4 实例总结	138

第3篇 多媒体开发实例

第6章 视频采集处理系统设计	141
6.1 视频采集处理系统概述	141
6.1.1 视频采集模块	141
6.1.2 视频输出模块	147
6.2 视频采集处理系统硬件接口电路	152
6.2.1 SAA7113 视频采集电路	153
6.2.2 SAA7121 视频编码处理电路	153
6.3 视频采集处理系统软件设计	154
6.3.1 创建 Quartus II 工程项目	155
6.3.2 创建 PLL 宏模块	155
6.3.3 创建 ROM 宏模块	157
6.3.4 创建 MASK_ROM 宏模块与 ADD_MASK 例化	161
6.3.5 I ² C 总线接口控制器	162
6.3.6 SAA7113 芯片 I ² C 命令集	171
6.3.7 SAA7121 芯片 I ² C 命令	175
6.3.8 视频采集处理系统原理图连线	179
6.3.9 引脚配置	179
6.4 实例总结	180

第 7 章 音频采集系统设计	181
7.1 音频采集系统概述	181
7.1.1 音频编解码工作原理	181
7.1.2 音频编码过程介绍	182
7.1.3 IIS 音频接口总线	184
7.2 音频采集系统硬件设计	185
7.2.1 数字立体声音频编解码芯片 AIC23 应用介绍	186
7.2.2 硬件电路	192
7.3 程序设计与代码	194
7.3.1 创建 Quartus II 工程	194
7.3.2 创建宏模块	195
7.3.3 创建 Verilog HDL 文件	202
7.3.4 创建硬件模块原理图	205
7.3.5 软件仿真与验证	206
7.4 实例总结	206
第 8 章 VGA 视频输出应用	207
8.1 VGA 接口概述	207
8.1.1 VGA 接口定义	207
8.1.2 VGA 显像原理	208
8.1.3 VGA 工业标准与工作时序	208
8.2 VGA 芯片 ADV7123 概述	209
8.2.1 ADV7123 引脚功能描述	210
8.2.2 ADV7123 芯片接口功能说明	212
8.3 VGA 硬件接口电路设计	214
8.4 VGA 硬件系统与程序设计	215
8.4.1 创建 Quartus II 工程项目	215
8.4.2 创建 PLL 宏模块	217
8.4.3 编写 VGA 控制器时序代码	220
8.4.4 模块原理图连线	223
8.4.5 引脚配置	224
8.4.6 程序仿真	225
8.5 实例总结	226

第 4 篇 消费电子开发实例

第 9 章 压力传感器数据采集系统	229
9.1 压力传感器数据采集系统概述	229
9.1.1 压力传感器概述	230

9.1.2 增益放大器	233
9.1.3 模数转换器(ADC)	233
9.2 压力传感器数据采集系统硬件电路	236
9.3 压力传感器硬件系统设计	237
9.3.1 创建 Quartus II 工程项目	238
9.3.2 创建 SOPC 系统	238
9.3.3 生成 Nios II 系统	250
9.3.4 创建顶层原理图模块	250
9.4 压力传感器软件系统设计与程序代码	251
9.4.1 创建 Nios II 工程	251
9.4.2 程序代码设计	251
9.5 实例总结	252
第 10 章 SD 卡音乐播放器设计	253
10.1 SD 存储卡概述	253
10.1.1 SD 存储卡物理结构与接口规范	253
10.1.2 SD 存储卡总线协议	255
10.2 SD 卡音乐播放器与 FPGA 接口电路设计	258
10.2.1 SD 存储卡硬件接口电路	258
10.2.2 字符型 LCD 硬件电路	259
10.3 硬件系统的 SOPC 设计	260
10.3.1 创建 Quartus II 工程项目	261
10.3.2 创建 SOPC 系统	262
10.3.3 生成 Nios II 系统	270
10.3.4 创建工程顶层文件与子模块文件	274
10.4 系统软件设计与程序代码	281
10.5 实例总结	289
第 11 章 大容量存储器系统设计	290
11.1 存储器概述	290
11.1.1 Flash 存储器概述	290
11.1.2 SDRAM 存储器概述	292
11.1.3 SRAM 存储器概述	295
11.2 存储器与 FPGA 硬件接口电路设计	296
11.2.1 SDRAM 存储器硬件电路	296
11.2.2 Flash 存储器硬件电路	297
11.2.3 SRAM 存储器硬件电路	297
11.2.4 复位电路与 LED 电路	297
11.3 硬件系统设计	300

11.3.1	创建 Quartus II 工程项目	300
11.3.2	创建 SOPC 系统	302
11.3.3	生成 Nios II 系统	310
11.3.4	创建顶层模块	311
11.4	软件设计与程序代码	312
11.5	实例总结	313
第 12 章	LCD 液晶显示器/触摸屏应用设计	314
12.1	LCD 液晶显示/触摸屏概述	314
12.1.1	LCD 液晶显示屏概述	314
12.1.2	触摸屏概述	317
12.2	LCD 液晶显示/触摸屏功能及应用	318
12.2.1	液晶显示模块概述	318
12.2.2	触摸屏控制芯片概述	321
12.2.3	LCD 液晶显示/触摸屏硬件接口电路	325
12.3	硬件系统设计	327
12.3.1	创建 Quartus II 工程项目	328
12.3.2	创建 SOPC 系统	328
12.3.3	生成 Nios II 系统	337
12.3.4	创建顶层模块	338
12.4	软件设计与程序代码	342
12.4.1	μ C/OS-II 操作系统移植要点	343
12.4.2	Nios II 系统工程创建	345
12.5	实例总结	347
第 13 章	数字温度传感器应用	348
13.1	数字温度传感器概述	348
13.1.1	LM75A 简述	348
13.1.2	LM75A 器件引脚描述	349
13.1.3	LM75A 相关寄存器介绍	350
13.1.4	中断(OS)输出	353
13.1.5	I ² C 总线通信协议	354
13.2	数字温度传感器与 FPGA 接口电路	357
13.3	传感器硬件系统设计	357
13.3.1	创建 Quartus II 工程项目	358
13.3.2	创建 SOPC 系统	358
13.3.3	生成 Nios II 系统	363
13.3.4	创建顶层原理图模块	366
13.4	软件设计与程序代码	367

13.4.1 创建 Nios II 工程	367
13.4.2 程序代码设计与修改	367
13.5 实例总结	369

第 5 篇 通信开发实例

第 14 章 以太网通信系统设计	373
14.1 以太网系统概述	373
14.1.1 以太网协议与 MAC 802.3 帧格式	373
14.1.2 网络传输介质	375
14.1.3 以太网物理层芯片与 MAC 层芯片接口	377
14.2 以太网控制器 DM9000A 简述	379
14.2.1 以太网控制器 DM9000A 引脚功能	380
14.2.2 以太网控制器 DM9000A 应用	383
14.2.3 以太网控制器 DM9000A 寄存器功能	385
14.3 以太网硬件接口电路设计	402
14.3.1 自动极性切换器电路	402
14.3.2 以太网接口电路	403
14.4 以太网硬件系统设计	403
14.4.1 创建 Quartus II 工程项目	404
14.4.2 创建 SOPC 系统	405
14.4.3 生成 Nios II 系统	417
14.4.4 创建顶层模块并添加 PLL 模块	417
14.5 软件设计与程序代码	421
14.5.1 创建 Nios II	421
14.5.2 程序代码设计与修改	422
14.6 实例总结	425
第 15 章 USB2.0 接口数据通信系统设计	426
15.1 USB2.0 芯片 CY7C68013 概述	426
15.1.1 I ² C 总线与控制器	427
15.1.2 USB 启动方式和枚举	429
15.1.3 中断系统	429
15.1.4 复位和唤醒	432
15.1.5 程序/数据 RAM	432
15.1.6 寄存器地址	434
15.1.7 端 点	434
15.1.8 外部 FIFO 接口	436
15.1.9 可编程通用接口(GPIF)	436

15.2	CY7C68013 与 FPGA 硬件接口电路	437
15.2.1	CY7C68013 芯片引脚功能介绍	437
15.2.2	CY7C68013 与 FPGA 硬件接口电路原理	439
15.3	从模式(slave)FIFO 传输概述	440
15.3.1	硬件连接	440
15.3.2	Slave FIFO 的常用传输方式	441
15.4	USB 系统软件设计与实现	445
15.4.1	USB 设备固件设计	445
15.4.2	USB 设备驱动程序设计	449
15.4.3	USB 设备应用程序(API)设计	449
15.5	USB 接口数据通信应用设计	449
15.5.1	同步读写 FIFO 实例设计	450
15.5.2	USB IN/OUT 实例设计	453
15.6	实例总结	458
第 16 章	IrDA 红外收发器应用	459
16.1	IrDA 红外数据通信概述	459
16.1.1	IrDA 分类	459
16.1.2	IrDA 基本通信协议层规范	460
16.1.3	IrDA 标准的协议栈	461
16.1.4	IrDA 编解码概述	461
16.2	IrDA 与 FPGA 硬件接口电路设计	463
16.2.1	HSDL3201 红外收发器概述	463
16.2.2	IrDA 与 FPGA 硬件接口电路	464
16.3	3/16 编解码软件设计	464
16.3.1	顶层程序文件	465
16.3.2	3/16 编解码程序	465
16.3.3	UART 顶层逻辑程序	468
16.3.4	UART 接收逻辑程序	469
16.3.5	UART 发送逻辑程序	472
16.4	IrDA 原理图连线	475
16.5	实例总结	476
第 17 章	GPS 通信系统设计	477
17.1	GPS 通信系统概述	477
17.1.1	GPS 系统工作原理	478
17.1.2	GPS 模块输出信号分析	478
17.1.3	GPS 模块电路原理图	481
17.2	硬件系统设计	482

17.2.1 创建 Quartus II 工程项目	483
17.2.2 创建 SOPC 系统	483
17.2.3 生成 Nios II 系统	492
17.2.4 创建顶层原理图模块	492
17.3 软件设计与程序代码	493
17.3.1 创建 Nios II 工程	493
17.3.2 程序代码设计与修改	493
17.4 实例总结	504
参考文献	505

第 1 篇 FPGA 基础知识篇

第 1 章 FPGA 入门了解

第 2 章 集成开发工具 MAX+plus II

第 3 章 Quartus II 使用详解

第 1 章

FPGA 入门了解

FPGA 是现场可编程门阵列(Field Programable Gate Array)的简称,是常用的嵌入式处理器之一,现在广泛应用于通信开发、消费电子、汽车电子、工业控制等领域。作为本书第 1 章,将首先介绍 FPGA 体系结构和常用芯片,使读者对 FPGA 的特点有一些入门性的了解。

1.1 FPGA 特点和应用

FPGA 是在 PAL、GAL、CPLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物,是作为 ASIC 领域中的一种半定制电路而出现的。FPGA 技术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。

1. FPGA 的基本特点

归纳起来,FPGA 的基本特点有:

(1) 采用 FPGA 设计 ASIC 电路(专用集成电路),用户不需要投片生产,就能得到适用的芯片。

(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。

(5) FPGA 采用高速 CHMOS 工艺,功耗低,可以与 CMOS、TTL 电平兼容。

可以说,FPGA 芯片是小批量系统提高系统集成度、可靠性的最佳选择之一。

2. FPGA 典型应用

在应用方面,FPGA 逻辑功能有:控制接口、总线接口、格式变换/控制、通道接口、协议控制接口、信号处理接口、成像控制/数字处理、加密/解密、错误探测等。

FPGA 的典型应用则如表 1-1 所列。