

工程师经验手记

轻松玩转 微控制器 ——基于 ARM Cortex-M3 ——基于 LPC1788 系列

刘波文 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

内容简介

工程师经验手记

轻松玩转 ARM Cortex-M3 微控制器 ——基于 LPC1788 系列

刘波文 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以 ARM Cortex-M3 内核 LPC1788 微控制器为讲述对象,分成基础篇、入门篇、进阶篇,覆盖了 LPC1788 微控制器基本外设应用、嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 、 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ 、Free RTOS、TCP/IP 协议栈 LwIP、 μIP ,以及嵌入式图形系统 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 的应用,软件与硬件兼顾,涉及理论但更偏重于实践。

全书共分为 20 章,所讲述的 18 个实例涵盖了最常用的外设以及典型的应用,实例设计中软件架构清晰,层次分明,跨平台可移植性强。

本书可作为高等院校计算机、电子信息工程、自动控制等专业本科生、研究生的嵌入式系统教材,也可供从事 ARM 和嵌入式软件开发的科研人员、从业人员和高等院校师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

轻松玩转 ARM Cortex-M3 微控制器:基于 LPC1788 系列 / 刘波文编著. — 北京:北京航空航天大学出版社, 2015.1

ISBN 978-7-5124-1419-8

I. ①轻… II. ①刘… III. ①微控制器 IV.

①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 225212 号

版权所有,侵权必究。

轻松玩转 ARM Cortex-M3 微控制器 ——基于 LPC1788 系列

刘波文 编著

责任编辑 杨 昕

*

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.bhaapress.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:52.25 字数:1 114 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1419-8 定价:118.00 元



前言

ARM Cortex-M3 是一种基于 ARM7v 架构的最新 ARM 内核, NXP 公司的 LPC178x/7x 系列微控制器以性能强大的 ARM Cortex-M3 版本 r2p0 为内核, 面向通信、工业、医疗、消费家电、汽车等领域, 用于处理要求高集成度和低功耗嵌入式应用的 32 位 RISC 处理器。

目前, 市面上有关 LPC1788 系列微控制器的图书为数不多, 一般分为两种类型: 一类基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ 讲述嵌入式实时操作系统及外设应用, 另一类则多针对各种外设接口介绍编程设计。很少有能够综合硬件与嵌入式系统软件设计, 集各类综合应用于一体的。本书基于 LPC178x/7x 系列微控制器, 既涉及基础理论, 又涉及嵌入式系统软件设计, 整体侧重于实践。内容分为基础篇、入门篇和进阶篇: 基础篇主要介绍 LPC1788 微控制器分类与结构特点, RealView MDK、IAR EWARM 的开发环境及其开发板; 入门篇主要基于 LPC1788 微控制器的常用外设进行应用设计; 重点为进阶篇, 覆盖了嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 、 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ 、FreeRTOS、TCP/IP 协议栈 LwIP、 μIP , 以及嵌入式图形系统 $\mu\text{C}/\text{GUI}$, 在介绍硬件编程设计与应用的同时, 深化了基于系统软件层次架构下的应用, 使读者迅速入门和提高。

本书的内容结构

全书共 20 章, 划分为三大篇。各篇、章内容安排如下:

基础篇

第 1 章, 简述基于 ARM Cortex-M3 内核的 LPC178x/7x 处理器的产品型号与分类、主要特点、外设配置、存储器映射等, 此外还介绍了 CMSIS 软件接口标准, 基于 CMSIS 架构的软件设计层次, 为后续学习打好基础。

第 2 章, 是开发工具入门介绍, 讲述了开发工具软件环境 RealView MDK、IAR EWARM、仿真器 J-link、ULINK2, 以及本书配套实验 LPC1788 硬件开发平台, 读者可以对常用开发工具及硬件平台有一入门性的了解。

入门篇

第 3 章, 先从 I/O 配置与 GPIO 端口部分进行原理讲述, 然后列举了两个简单的 GPIO 端口应用实例。

第4章,讲述RTC内部功能结构以及RTC应用实例。着重介绍RTC原理、相关寄存器与库函数功能、通过调用I/O引脚连接管理驱动库、RTC模块驱动库以及UART模块驱动库等,列举了两个简单的RTC应用实例。

第5章,讲述定时器的特点、结构、库函数,以及应用实例。着重介绍定时器外设的原理、相关寄存器与库函数功能、通过定时器外设驱动库以及UART模块驱动库等实现的两个定时器应用实例。

第6章,着重讲述ADC外设的基本原理、寄存器,以及库函数功能,详解调用其他公用模块驱动库实现两个ADC采样与转换实例的编程设计。

第7章,简述DAC外设的基本结构、寄存器,以及库函数功能,详述通过综合I/O引脚连接管理驱动库、定时器外设驱动库、DMA控制器驱动库、DAC驱动库实现DAC输出的应用。

第8章,简述PWM外设的基本结构、相关寄存器,以及库函数功能等,详解以I/O引脚连接管理驱动库、PWM外设驱动库为基础实现单双沿PWM信号的应用。

第9章,主要介绍MCPWM外设的基本结构、相关寄存器、库函数以及基本应用操作,以MCPWM外设驱动库为基础实现MCPWM信号的简单输出应用。读者可通过改良,快速实现三相直流或交流电机驱动。

第10章,主要介绍UART外设的基本结构、寄存器、库函数以及基本应用操作等,详解以UART外设驱动库为基础实现RS-232和RS-485标准数据通信的应用。

第11章,主要介绍SSP外设相关寄存器、库函数功能等,介绍基于SSP外设驱动库来设计SST25VF016B存储器的相关操作功能函数和实现串行存储器的简易操作。

第12章,主要介绍I²S外设的基本特性、寄存器和库函数。定义I²C总线接口对数字音频编解码UDA1380的硬件配置,I²S总线接口实现对既定义音频数据流的传送,实现了一个数字音频数据流演示传输的实例。

第13章,主要介绍MCI外设的基本特性、相关寄存器和库函数功能等。安排了基于SD卡的文件系统操作实例,实例软件设计基于应用层、中间件层、硬件底层的三层架构,对FATFS中间件层程序文件、文件系统的各种操作指令及存储介质I/O接口均作了详细的阐述。

第14章,介绍LCD控制器的基本特性、相关寄存器,并简单介绍一些库函数功能,演示了LCD控制器驱动7 in(英寸)TFT液晶屏以及触摸屏多点校准的例程。

第15章,讲述LPC178x微控制器以太网控制器接口的基本结构与特性、寄存器及库函数功能等,同时也介绍了以太网物理收发器LAN8720A的相关寄存器及配置方式,以及μIP协议栈的特点、架构、与底层的接口、移植重点等,通过两个应用实例演示采用以太网接口的网络通信,实例侧重于μIP协议栈的应用设计。

进阶篇

第16章,主要介绍嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的内核体系结构和特点,并集中讲述 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 嵌入式系统的移植要点,最后给出一个简易 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 系统软件编程实例。通过实例展示了如何在 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 系统中进行软件设计,其软件设计涉及的层次结构又是怎样的,以及 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 系统任务的建立和启动方式。

第17章,是一个综合应用实例,以第15章为设计基础。首先介绍网络传输介质、以太网协议的数据帧格式、嵌入式系统的以太网协议等,紧接着详细介绍LwIP协议栈常用的API函数以及内存管理机制,并进一步介绍基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 系统环境的LwIP移植过程。

第18章,详细介绍FreeRTOS系统的特点、文件架构、移植步骤与要点,并通过一个简单的应用实例演示了FreeRTOS系统的运行。

第19章,是一个综合型应用实例,基于第14章LCD控制器进行软件设计。首先讲述嵌入式图形系统 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 的系统架构、各模块的功能实现函数、系统移植步骤等,然后通过一个图形界面显示实例来演示如何在 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 系统中构建 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 图形用户接口及执行触点校准动作。

第20章,详细介绍嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ 的特点、内核、内核结构以及主要功能函数,并详细阐述了 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ 系统基于Cortex-M3内核LPC1788微控制器的移植要点。

本书通过18个实例,由浅入深、点面结合,详细深入地阐述了LPC1788应用实例的开发与应用。这些应用实例典型、类型丰富、覆盖面广,涉及理论但更侧重于实践,代表性和指导性强。

本书特色

(1) 实例丰富、技术新潮。精选了18个应用实例,基础实例主要涉及理论讲述与简易设计,进阶应用实例偏重实践,综合实践指导性强。

(2) 全书实例以“硬件电路设计+软件设计”相结合的形式讲授,帮助读者掌握开发精要,学懂学透。

(3) 基础实例与进阶应用实例并举,软件设计架构分明、层次清晰,有利于跨开发平台移植,兼容性强。

本书实例全部在配套的LPC1788开发板上调试通过。该开发板很适合教学使用,同时也是很好的通用开发板。为促进读者更好地学习,加强互动,提供优惠购买图书配套开发板活动,有需要的读者可以在作者的淘宝网(<http://sortwell.taobao.com>)购买,也可以通过邮件(powenliu@yeah.net)联系作者本人。

本书的代码设计基本采用NXP公司官方公布的库函数,易于操作,使用方便。一般来说,软件模块化设计,主要面向大规模的用户群体以及项目群体,这也是一种最通用的设计;库函数的提供可作为软件设计正规化、规范化、模块化、系统化、承前继后、迭代更新的一种很重要的实现手段。这类库函数在嵌入式操作系统层面设计

前言

时适用性较好,可快速实现系统设计与硬件驱动层面的剥离。当然这也对驱动库函数的编写提出了更大的挑战:必须隔离性好,操作定位精确,冗余少,编码风格易懂。这里也必须说明自定义的寄存器型软件设计,它的针对性强,面向客户化需求,其操作时序、速度、效率较高,适合于快速应用、中小规模及裸机系统的固件设计,但不一定适合研发团队代码量很大的开发应用。尽管两种方式都有优缺点,但有一点不容置疑,无论采用哪种方式进行软件设计,硬件底层的设计最终都是针对寄存器的操作,包括但不限于配置、定义、修改等操作,它们的实现最终都需要精确到每个寄存器位的设置。

致 谢

本书除参考文献提及的书籍与文献外,部分章节的编写参考了网络传播资源以及NXP公司提供的库函数及演示代码,未再一一列出这些资料的贡献者,在此一并感谢。

本书由刘波文编著。这里还要特别感谢黄红光、黄国灿、黄国铭、黄亮金、夏铁华、罗敏、程义育、丁磊、王磊、梁海峰、梁丹、聂静敏、毛文秀、何同芬、崔春艳、崔虎威、熊尉、孙岩、孙江波、陈秋宇、陈攀、陈明、李楠、毛青、张永明、易耀、吕帅、劳展杰、董琴、陶源、谢志强、汤砚侠、刘健等人参与了编写及资料收集工作。

由于涉及内容较多,加之知识有限,时间仓促,书中不足和错误之处在所难免,恳请专家和读者批评指正。

刘波文 题

2014年6月12日

于深圳

目 录

基础篇

第 1 章	LPC178x 系列微控制器概述	3
1.1	Cortex - M3 处理器概述	3
1.1.1	Cortex - M3 配置选项	3
1.1.2	LPC178x/177x 系列微控制器型号与分类	4
1.1.3	LPC178x/177x 系列微控制器主要特点	5
1.1.4	LPC178x/177x 系列微控制器结构概述	7
1.1.5	LPC178x/177x 系列微控制器存储器映射	9
1.1.6	片上存储器	10
1.1.7	片上外设及基址	10
1.2	CMSIS 软件接口标准	12
1.2.1	CMSIS 层与软件架构	13
1.2.2	CMSIS 文件结构	14
第 2 章	开发工具概述	22
2.1	常用开发工具概览	22
2.1.1	RealView MDK 开发环境	22
2.1.2	IAR EWARM 开发环境	23
2.1.3	J - Link 仿真器	24
2.1.4	ULINK2 仿真器	25
2.2	LPC1788 评估板简述	26
2.2.1	开发板概览	26
2.2.2	开发板外设接口 I/O 分配	29
2.3	RealView MDK 开发环境快速入门	31
2.3.1	工程项目的建立	31
2.3.2	工程项目的配置	33
2.3.3	编写演示代码	35

目 录

2.3.4 工程项目的编译	36
2.3.5 程序下载与调试	37
2.4 IAR 开发环境快速入门	40
2.4.1 IAR 工程项目的快速建立	40
2.4.2 编译和链接应用程序	46
2.4.3 仿真调试	48

入门篇

第3章 GPIO 端口应用	55
3.1 I/O 端口配置概述	55
3.1.1 I/O 端口配置描述	55
3.1.2 I/O 端口控制寄存器功能描述	58
3.2 GPIO 端口概述	62
3.2.1 引脚描述	63
3.2.2 GPIO 寄存器描述	63
3.3 GPIO 及 I/O 配置常用库函数	72
3.3.1 GPIO 端口库函数功能详解	72
3.3.2 引脚连接配置库函数功能详解	82
3.4 GPIO 端口应用实例	88
3.4.1 设计目标	88
3.4.2 硬件电路设计	88
3.4.3 实例软件设计	89
3.5 实例总结	96
第4章 实时时钟应用	97
4.1 实时时钟(RTC)概述	97
4.1.1 RTC 基本配置	98
4.1.2 RTC 引脚描述	99
4.2 RTC 寄存器描述	99
4.2.1 RTC 中断	100
4.2.2 混合寄存器组	101
4.2.3 完整时间寄存器组	103
4.2.4 时间计数器组	104
4.2.5 通用寄存器组	106
4.2.6 报警寄存器组	106

4.3	RTC 常用库函数	107
4.4	RTC 应用实例	118
4.4.1	设计目标	118
4.4.2	硬件电路设计	119
4.4.3	实例软件设计	119
4.5	实例总结	124
第5章	定时器应用	125
5.1	定时器(Timer)概述	125
5.1.1	定时器的基本配置	126
5.1.2	定时器的引脚描述	127
5.2	Timer 寄存器描述	127
5.2.1	中断寄存器	128
5.2.2	定时器控制寄存器	129
5.2.3	定时器/计数器	129
5.2.4	预分频寄存器	129
5.2.5	预分频计数器	129
5.2.6	匹配控制寄存器	130
5.2.7	匹配寄存器 0~3	131
5.2.8	捕获寄存器 0~1	131
5.2.9	捕获控制寄存器	131
5.2.10	外部匹配寄存器	132
5.2.11	计数控制寄存器	132
5.2.12	DMA 操作	133
5.3	Timer 常用库函数	134
5.4	Timer 应用实例	142
5.4.1	设计目标	142
5.4.2	硬件电路设计	142
5.4.3	实例软件设计	143
5.5	实例总结	151
第6章	模/数转换器应用	152
6.1	模/数转换器(ADC)概述	152
6.1.1	ADC 的基本配置	153
6.1.2	ADC 的引脚描述	153
6.1.3	ADC 的操作	153

目 录

6.2	ADC 寄存器描述	154
6.2.1	ADC 控制寄存器	155
6.2.2	ADC 全局数据寄存器	156
6.2.3	ADC 中断使能寄存器	157
6.2.4	ADC 数据寄存器 0~7	158
6.2.5	ADC 状态寄存器	159
6.2.6	ADC 调节寄存器	159
6.3	ADC 常用库函数	160
6.4	ADC 应用实例	165
6.4.1	设计目标	165
6.4.2	硬件电路设计	165
6.4.3	实例软件设计	166
6.5	实例总结	173
第 7 章	数/模转换器应用	174
7.1	数/模转换器(DAC)概述	174
7.1.1	DAC 的基本配置	175
7.1.2	DAC 的引脚描述	175
7.1.3	DAC 的操作	175
7.2	DAC 寄存器描述	176
7.2.1	D/A 转换器寄存器	176
7.2.2	D/A 转换器控制寄存器	177
7.2.3	D/A 转换器计数器值寄存器	177
7.3	常用库函数	178
7.3.1	DAC 驱动库	178
7.3.2	通用 DMA 控制器常用库函数	180
7.4	DAC 应用实例	183
7.4.1	设计目标	183
7.4.2	硬件电路设计	184
7.4.3	实例软件设计	184
7.5	实例总结	191
第 8 章	脉宽调制器应用	192
8.1	脉宽调制器(PWM)概述	192
8.1.1	脉宽调制器的基本配置	194
8.1.2	脉宽调制器的引脚描述	195

8.1.3 单沿和双沿控制规则的采样波形	195
8.2 PWM 寄存器描述	197
8.2.1 PWM 中断寄存器	197
8.2.2 PWM 定时器控制寄存器	198
8.2.3 PWM 计数控制寄存器	199
8.2.4 PWM 定时器/计数器	199
8.2.5 PWM 预分频寄存器	200
8.2.6 PWM 预分频计数器寄存器	200
8.2.7 PWM 匹配控制寄存器	200
8.2.8 PWM 匹配寄存器	202
8.2.9 PWM 捕获控制寄存器	202
8.2.10 PWM 捕获寄存器	203
8.2.11 PWM 控制寄存器	203
8.2.12 PWM 锁存使能寄存器	204
8.3 PWM 常用库函数	205
8.4 PWM 应用实例	211
8.4.1 设计目标	211
8.4.2 硬件电路设计	211
8.4.3 实例软件设计	212
8.5 实例总结	219
第 9 章 电机控制脉宽调制器应用	220
9.1 电机控制脉宽调制器概述	220
9.1.1 电机控制脉宽调制器的基本配置	220
9.1.2 电机控制脉宽调制器的引脚描述	222
9.2 电机控制脉宽调制器寄存器描述	222
9.2.1 MCPWM 控制寄存器	223
9.2.2 MCPWM 捕获控制寄存器	225
9.2.3 MCPWM 中断寄存器	227
9.2.4 MCPWM 计数控制寄存器	229
9.2.5 MCPWM 定时器/计数器 0~2 寄存器	231
9.2.6 MCPWM 界限 0~2 寄存器	231
9.2.7 MCPWM 匹配 0~2 寄存器	232
9.2.8 MCPWM 死区时间寄存器	233
9.2.9 MCPWM 通信格式寄存器	234
9.2.10 MCPWM 捕获寄存器	234

目 录

9.3	MCPWM 的应用操作	235
9.3.1	脉宽调制	236
9.3.2	映射寄存器和同时更新	238
9.3.3	快速中止(ABORT)	238
9.3.4	捕获事件	238
9.3.5	外部事件计数(计数器模式)	238
9.3.6	三相直流模式	239
9.3.7	三相交流模式	240
9.3.8	中断源	240
9.4	MCPWM 常用库函数	241
9.5	MCPWM 应用实例	248
9.5.1	设计目标	248
9.5.2	硬件电路设计	248
9.5.3	实例软件设计	249
9.6	实例总结	255
第 10 章	通用异步收发器应用	256
10.1	通用异步收发器(UART)概述	256
10.1.1	通用异步收发器的基本配置	260
10.1.2	通用异步收发器的引脚描述	261
10.2	UART 寄存器描述	262
10.2.1	UART _n 接收缓冲寄存器(RBR)	263
10.2.2	UART _n 发送保持寄存器(THR)	263
10.2.3	UART _n 除数锁存器 LSB/MSB 寄存器(DLL,DLM)	264
10.2.4	UART _n 中断使能寄存器(IER)	264
10.2.5	UART _n 中断标识寄存器(IIR)	265
10.2.6	UART _n FIFO 控制寄存器(FCR)	266
10.2.7	UART _n 线控制寄存器(LCR)	267
10.2.8	UART _n Modem 控制寄存器(MCR)	268
10.2.9	UART _n 线状态寄存器(LSR)	268
10.2.10	UART _n Modem 状态寄存器(MSR)	270
10.2.11	UART _n 高速缓存寄存器(SCR)	271
10.2.12	UART _n 自动波特率控制寄存器(ACR)	271
10.2.13	UART _n 分数分频器寄存器(FDR)	271
10.2.14	UART _n 发送使能寄存器(TER)	272
10.2.15	UART _n 的 RS-485 控制寄存器(RS485CTRL)	273

10.2.16	UART _n 的 RS-485 地址匹配寄存器(RS485ADRMATCH) ...	274
10.2.17	UART _n 的 RS-485 延时值寄存器(RS485DLY)	274
10.2.18	UART4 过采样寄存器(OSR)	274
10.2.19	UART4 智能卡接口控制寄存器(SCICTRL)	275
10.2.20	UART4 同步模式控制寄存器(SYNCCTRL)	276
10.2.21	UART4 IrDA 控制寄存器(ICR)	276
10.3	UART 常用库函数	277
10.4	UART 应用实例	289
10.4.1	设计目标	289
10.4.2	硬件电路设计	289
10.4.3	实例软件设计	291
10.5	实例总结	298
第 11 章	串行同步端口控制器应用	299
11.1	串行同步端口概述	299
11.1.1	串行同步端口的的基本配置	299
11.1.2	串行同步端口的引脚描述	300
11.2	SSP 寄存器描述	300
11.2.1	SSP _n 控制寄存器 0(CR0)	301
11.2.2	SSP _n 控制寄存器 1(CR1)	301
11.2.3	SSP _n 数据寄存器(DR)	302
11.2.4	SSP _n 状态寄存器(SR)	302
11.2.5	SSP _n 时钟预分频寄存器(CPSR)	303
11.2.6	SSP _n 中断使能置位/清零寄存器(IMSC)	303
11.2.7	SSP _n 原始中断状态寄存器(RIS)	304
11.2.8	SSP _n 使能中断状态寄存器(MIS)	304
11.2.9	SSP _n 中断清零寄存器(ICR)	304
11.2.10	SSP _n DMA 控制寄存器(DMACR)	305
11.3	SSP 常用库函数	305
11.4	SSP 外设应用实例	312
11.4.1	设计目标	312
11.4.2	硬件电路设计	312
11.4.3	实例软件设计	315
11.5	实例总结	318

第 12 章 I²S 数字音频接口应用	319
12.1 I ² S 总线接口概述	319
12.1.1 I ² S 总线接口的基本配置	321
12.1.2 I ² S 接口的引脚描述	321
12.2 I ² S 寄存器描述	322
12.2.1 数字音频输出寄存器(I2SDAO)	322
12.2.2 数字音频输入寄存器(I2SDAI)	323
12.2.3 发送缓冲寄存器(I2STXFIFO)	324
12.2.4 接收缓冲寄存器(I2SRXFIFO)	324
12.2.5 状态反馈寄存器(I2SSTATE)	324
12.2.6 DMA 配置寄存器 1(I2SDMA1)	324
12.2.7 DMA 配置寄存器 2(I2SDMA2)	325
12.2.8 中断请求控制寄存器(I2SIRQ)	325
12.2.9 发送时钟速率寄存器(I2STXRATE)	326
12.2.10 接收时钟速率寄存器(I2SRXRATE)	326
12.2.11 发送时钟位速率寄存器(I2STXBITRATE)	327
12.2.12 接收时钟位速率寄存器(I2SRXBITRATE)	327
12.2.13 发送模式控制寄存器(I2STXMODE)	327
12.2.14 接收模式控制寄存器(I2SRXMODE)	328
12.3 I ² S 常用库函数	328
12.4 I ² S 数字音频接口播放器应用实例	337
12.4.1 设计目标	337
12.4.2 硬件电路设计	337
12.4.3 实例软件设计	343
12.5 实例总结	351
第 13 章 SD 卡接口应用	352
13.1 SD 卡接口概述	352
13.1.1 SD 卡接口的基本配置	353
13.1.2 SD 卡接口的引脚描述	353
13.2 SD 卡接口寄存器描述	353
13.2.1 电源控制寄存器(MCIPower)	354
13.2.2 时钟控制寄存器(MCIClock)	355
13.2.3 参数寄存器(MCIArgument)	355
13.2.4 命令寄存器(MCICommand)	356

13.2.5	命令响应寄存器(MCIRspCommand)	356
13.2.6	响应寄存器 0~3(MCIRsp0~3)	357
13.2.7	数据定时器寄存器(MCIData Timer)	357
13.2.8	数据长度寄存器(MCIDataLength)	357
13.2.9	数据控制寄存器(MCIDataCtrl)	358
13.2.10	数据计数器寄存器(MCIDataCnt)	358
13.2.11	状态寄存器(MCIStatus)	359
13.2.12	清零寄存器(MCIClear)	360
13.2.13	中断屏蔽寄存器(MCIMask)	360
13.2.14	FIFO 计数器寄存器(MCIFifoCnt)	361
13.2.15	数据 FIFO 寄存器(MCIFIFO)	361
13.3	SD 卡接口的常用库函数	361
13.4	基于 SD 卡接口的文件系统实例	373
13.4.1	设计目标	373
13.4.2	硬件电路设计	373
13.4.3	实例软件设计	374
13.5	实例总结	400
第 14 章	LCD 控制器与触摸应用	401
14.1	LCD 控制器概述	401
14.1.1	LCD 上电与掉电时序	403
14.1.2	LCD 控制器的基本配置	404
14.1.3	LCD 控制器的引脚描述	404
14.2	LCD 控制器寄存器描述	404
14.2.1	LCD 配置和计时控制寄存器(LCD_CFG)	405
14.2.2	水平时序控制寄存器(LCD_TIMH)	405
14.2.3	垂直时序控制寄存器(LCD_TIMV)	406
14.2.4	时钟与信号极性控制寄存器(LCD_POL)	407
14.2.5	线端控制寄存器(LCD_LE)	408
14.2.6	上面板帧基址寄存器(LCD_UPBASE)	409
14.2.7	下面板帧基址寄存器(LCD_LPBASE)	409
14.2.8	LCD 控制寄存器(LCD_CTRL)	409
14.2.9	中断屏蔽寄存器(LCD_INTMSK)	411
14.2.10	原始中断屏蔽寄存器(LCD_INTRAW)	411
14.2.11	中断屏蔽状态寄存器(LCD_INTSTAT)	412
14.2.12	中断清零寄存器(LCD_INTCLR)	412

目 录

14.2.13	上面板当前地址寄存器(LCD_UPCURR)	413
14.2.14	下面板当前地址寄存器(LCD_LPCURR)	413
14.2.15	彩色调色板寄存器(LCD_PAL)	413
14.2.16	光标图像寄存器(CRSR_IMG)	414
14.2.17	光标控制寄存器(CRSR_CTRL)	414
14.2.18	光标配置寄存器(CRSR_CFG)	415
14.2.19	光标调色板寄存器 0(CRSR_PAL0)	415
14.2.20	光标调色板寄存器 1(CRSR_PAL1)	416
14.2.21	光标 XY 位置寄存器(CRSR_XY)	416
14.2.22	光标剪裁位置寄存器(CRSR_CLIP)	416
14.2.23	光标中断屏蔽寄存器(CRSR_INTMSK)	417
14.2.24	光标中断清零寄存器(CRSR_INTCLR)	417
14.2.25	光标原始中断状态寄存器(CRSR_INTRAW)	417
14.2.26	光标中断屏蔽状态寄存器(CRSR_INTSTAT)	418
14.3	LCD 控制器的常用库函数	418
14.4	LCD 控制器应用实例	422
14.4.1	设计目标	422
14.4.2	硬件电路设计	422
14.4.3	文字显示实例软件设计	427
14.4.4	触摸屏校准实例软件设计	435
14.5	实例总结	440
第 15 章	以太网接口应用	441
15.1	以太网接口概述	441
15.1.1	以太网模块的内部结构与特性	441
15.1.2	以太网数据包	443
15.1.3	以太网接口的基本配置	444
15.1.4	以太网接口的引脚描述	445
15.2	以太网接口的寄存器描述	446
15.2.1	MAC 寄存器组	447
15.2.2	控制寄存器组	454
15.2.3	接收过滤寄存器组	461
15.2.4	模块控制寄存器组	463
15.2.5	描述符与状态	465
15.3	以太网接口的常用库函数	471
15.4	以太网接口应用实例	479