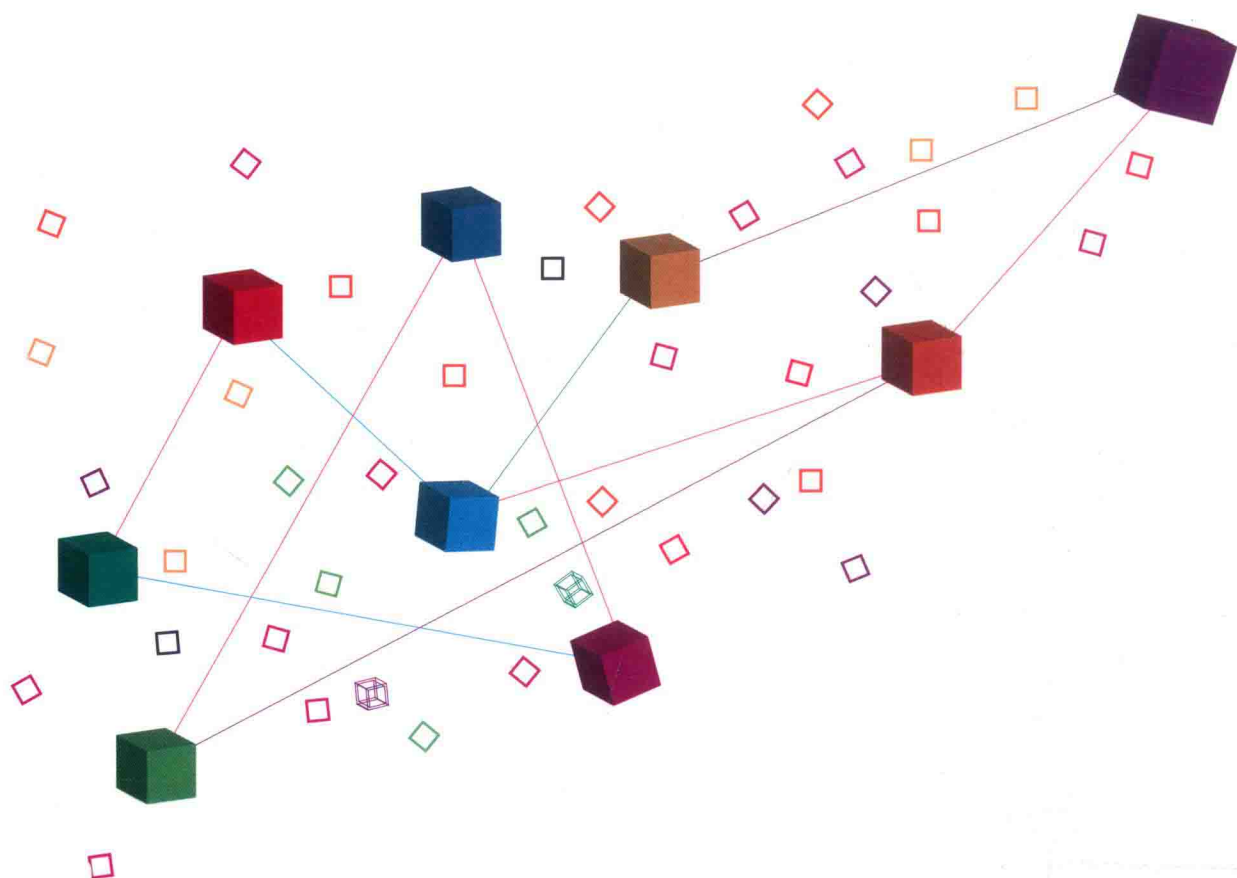


21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

赖晓晨 迟宗正 张立勇 韩璐瑶 编著

嵌入式系统案例 设计教程



清华大学出版社



21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

嵌入式系统案例 设计教程

赖晓晨 迟宗正 张立勇 韩璐瑶 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从工程实践角度出发,以多核心嵌入式教学科研平台和多核心单片机教学实验平台为例,介绍了嵌入式系统的完整设计流程、基于 Proteus 的硬件仿真技术以及典型模块软硬件设计等内容,希望能为读者展现出嵌入式系统设计的全貌。本书涉及的嵌入式系统采用 4 种处理器: LPC2136、MSP430、AT89S51、ATmega32,其中, LPC2136 为 ARM 处理器,其余 3 种为应用十分广泛的单片机。本书涉及的硬件模块和硬件接口,均配有完整的代码,并全部调试通过,读者可根据自己的实际需求,将各个硬件模块和代码直接引入自己设计的系统中。此外,本书还介绍了基于 LPC2136 和 AT89S52 处理器的 Proteus 仿真技术,内容新颖,实用性较强。通过本书的学习,希望读者可以完成从书本知识学习到具备基本工程实践能力的转变。

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

嵌入式系统案例设计教程/赖晓晨等编著. —北京:清华大学出版社,2018

(21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-48204-8

I. ①嵌… II. ①赖… III. ①微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 209722 号

责任编辑:梁颖 梅栾芳

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25 彩 插:3 字 数:606 千字

版 次:2018 年 1 月第 1 版 印 次:2018 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:59.00 元

产品编号:075324-01

前 言

当前,嵌入式系统设计已经形成一个规模庞大的产业,嵌入式产品在我们身边随处可见,与此相对应,学习嵌入式系统的开发设计也已成为计算机应用领域的热点。一般嵌入式系统的学习方法为购买一套嵌入式开发板,按照开发板附带光盘中的实例调试所有代码,以便加深对嵌入式处理器的认识。但是,由这种纯软件调试方式获得的经验是极其有限的。一方面,学习者一般仅针对教程中的代码框架来调试,没有自己探索完整软件设计的机会;另一方面,由于硬件平台已经完成,学习者不会获得硬件电路设计的经验;更为关键的是,从工程角度而言,嵌入式开发板是一个完整的嵌入式系统,这个系统的完成已依次经历了需求分析、任务提取、概要设计、原理图设计、模块仿真、PCB 设计、硬件调试、软件编程等环节,而学习者接触到的仅仅是最后一个环节——软件编程——的一部分,不可能学习到嵌入式系统的完整设计流程。

本书介绍了两套嵌入式系统的完整开发流程,同时介绍了目前比较流行的基于 Proteus 的嵌入式系统仿真过程。两套嵌入式系统分别为多核心嵌入式教学科研平台和多核心单片机教学实验平台,这两种平台均采用“主板+核心板”的设计模式,主要的硬件模块和接口设计在主板上。其中,前者的核心板分别基于 ARM7 处理器和 MSP430 单片机,任意一种核心板都通过主板上的处理器接口控制主板的全部资源。与此类似,后者也采用“主板+核心板”的设计模式,支持 8051 单片机和 AVR 单片机两种处理器。本书还采用嵌入式仿真软件 Proteus,介绍了基于 ARM7 处理器和 8051 单片机的典型电路仿真设计,通过硬件仿真,可大幅度节省项目开发时间,降低开发成本。

本书从工程角度来介绍嵌入式系统的完整设计与实现流程,从零开始带领读者一步步完成独立的嵌入式系统,内容涵盖从需求分析到方案设计、从硬件仿真到系统测试等各个环节,从设计的高度带给读者嵌入式系统开发的整体印象。本书还对涉及的每一部分硬件模块做出详细说明,包括相关协议说明、器件工作原理简介、硬件运行机制分析以及实例代码解释等方面,力求为读者建立起嵌入式系统设计的完整概念,帮助读者掌握常见嵌入式模块的设计方法。如果读者具备开发条件,那么可以按照本书介绍的步骤,构建出完全相同的嵌入式系统及仿真案例。

本书着眼于工程实践,主要内容分为 4 篇。第 1 篇主要介绍嵌入式系统的基础内容,包括绪论、处理器与开发环境、嵌入式系统设计流程;第 2 篇介绍多核心嵌入式教学科研平台的设计过程,包括系统需求分析与总体设计、开发框架和公共模块、电路设计与软件分析;第 3 篇介绍多核心单片机教学实验平台的设计过程,包括系统需求分析与总体设计、模块设计与软件分析;第 4 篇分别以 ARM 和 8051 为例,介绍基于 Proteus 的嵌入式系统仿真。本书还设计了 3 个附录,介绍书中涉及的 3 个 EDA 工具的安装过程,分别为 Keil 安装简介、Altium Designer 安装简介和 Proteus 安装简介。

在本书的撰写过程中,力求使其具有以下特点。

(1) 工程性。从工程实践角度出发,引导读者完成嵌入式系统设计的全部流程,从需求

分析到编码测试都有详尽介绍,力求使读者对嵌入式系统设计形成完整认识。

(2) 新颖性。用一篇内容专门介绍电路设计仿真软件 Proteus 的使用方法,并将其与应用广泛的 ARM 处理器和单片机的典型电路相结合,介绍软硬件设计及联调方法。

(3) 典型性。本书涉及的处理器为应用最广泛的 ARM 处理器及 MPS430、8051 和 AVR 单片机,这几种处理器具有功能强大、技术成熟、市场占有率高等特点。

(4) 实用性。本书所有模块都附有硬件原理图、完整的代码及代码分析介绍,读者可将这些实例直接应用到自己设计的电路中。此外,本书还介绍了各种 EDA 软件,例如 Keil、Proteus、Altium Designer 等,非常实用。

(5) 广泛性。本书硬件部分涉及二十余种常用电路设计和十余种典型接口,覆盖到常用的硬件模块。

(6) 易用性。读者只要有单片机或者 ARM 处理器的基础,就可以看懂此书。本书的设计思路是从零开始,手把手地教读者设计完成完整的嵌入式系统,包括其中每个典型电路,以及代码编写。

本书的读者为以下对象群体:了解嵌入式系统基本概念的本科生、研究生;希望了解基于 ARM 处理器或 MSP430、8051、AVR 等单片机进行嵌入式系统设计的学习者;希望掌握嵌入式工程设计思想,进一步提高系统设计能力的学习者;希望学习嵌入式系统仿真设计的学习者;在嵌入式领域,希望学习典型硬件模块设计和软件编程的学习者;其他对嵌入式系统设计感兴趣的学习者。

在本书的编写过程中,陈鑫、王亚坤、宋莉莉等在硬件设计方面做了大量工作;张晓彤、魏铁、吴国信、张逸群在软件设计和书稿撰写方面付出了艰苦的努力;杜春明完成了部分课件制作工作。在此向以上同仁表示由衷的感谢!同时,感谢清华大学出版社及梁颖编辑,是你们的辛勤工作让本书的面世成为可能;感谢大连理工大学软件学院的同事们提供的宝贵意见;最后,也是最重要的,感谢我曾经的和将来的学生们,是你们带给了我工作的乐趣和动力!

由于作者经验有限,加之时间仓促,书中不可避免会有不足之处,请读者不吝批评指正。所有关于本书的意见,请发送电子邮件到 laixiaochen@dlut.edu.cn 信箱,希望在和读者交流的过程中能有所裨益。

编 者

2017 年 9 月

目 录

第 1 篇 嵌入式系统开发概述

第 1 章 绪论	3
1.1 嵌入式系统概述	3
1.1.1 嵌入式系统的定义	3
1.1.2 嵌入式系统的特点	3
1.1.3 嵌入式系统的应用与发展	4
1.2 嵌入式系统硬件设计	5
1.2.1 概述	5
1.2.2 设计流程	5
1.3 嵌入式系统软件设计	9
1.3.1 嵌入式系统软件架构	9
1.3.2 嵌入式系统软件设计流程	10
1.3.3 软硬件协同设计	12
1.4 嵌入式系统开发形式	13
第 2 章 处理器与开发环境	15
2.1 LPC2136 处理器	15
2.1.1 ARM7 体系结构	15
2.1.2 LPC2136 片上资源	18
2.2 8051 单片机	20
2.2.1 8051 单片机概述	21
2.2.2 AT89S51 系列单片机	22
2.3 Keil 集成开发环境	24
2.3.1 Keil 开发环境	24
2.3.2 基于 LPC2136 的系统开发流程	26
2.4 MSP430 单片机	32
2.4.1 MSP430 单片机概述	32
2.4.2 MSP430F161X 系列单片机	35
2.5 AVR 单片机	38
2.5.1 AVR 单片机概述	38
2.5.2 ATmega32 系列单片机	40
2.6 JTAG 工作原理	42

2.7	Altium Designer 介绍	45
2.7.1	Altium Designer 工具简介	45
2.7.2	PCB 设计入门	46
2.8	工具软件	55
2.8.1	H-JTAG	55
2.8.2	串口通信工具	60
2.8.3	USB 调试工具	64
2.8.4	图像转换工具	66
2.8.5	MP3 音频转换工具	69
2.8.6	PROGISP	70
第 3 章	嵌入式系统设计流程	73
3.1	需求分析的主要问题	73
3.2	嵌入式处理器选型	75
3.3	系统软硬件功能分配	76
3.4	系统结构设计	76
3.5	嵌入式系统工艺设计	78
3.6	抗干扰设计	78
3.7	嵌入式系统工业设计	79
第 2 篇 多核心嵌入式教学科研平台设计		
第 4 章	嵌入式平台系统需求分析与总体设计	83
4.1	系统概述	83
4.2	系统需求分析	84
4.2.1	硬件需求分析	85
4.2.2	软件需求分析	87
4.3	总体设计	88
4.3.1	核心板设计	88
4.3.2	主板硬件模块设计	90
4.3.3	主板跳线器设计	94
4.4	LPC2136 核心板设计与实现	95
4.4.1	LPC2136 核心板设计	95
4.4.2	LPC2136 核心板原理说明	96
4.4.3	LPC2136 核心板跳线说明	98
4.5	MSP430 核心板设计与实现	103
4.5.1	MSP430 核心板设计	103
4.5.2	MSP430 核心板原理说明	104
4.5.3	MSP430 核心板跳线说明	105

4.6 仿真器设计与实现	108
4.6.1 JTAG 仿真器	108
4.6.2 H-JTAG 仿真器	108
4.6.3 仿真器的使用	111
第5章 开发框架和公共模块	112
5.1 开发框架	112
5.2 GPIO 介绍	113
5.2.1 LPC2136 处理器 GPIO 介绍	113
5.2.2 MSP430F1611 处理器 GPIO 介绍	115
5.3 SPI 模块介绍	117
5.3.1 LPC2136 的 SPI 接口	118
5.3.2 MSP430F1611 的 SPI 接口	123
5.4 模拟总线介绍	126
第6章 电路设计与软件分析	129
6.1 步进电机	129
6.1.1 工作原理	129
6.1.2 电路介绍	130
6.1.3 软件设计	131
6.2 UART 模块	133
6.2.1 UART 工作原理概述	133
6.2.2 UART 模块结构	134
6.2.3 SP3232 及 UART 模块电路简介	138
6.2.4 UART 模块编程示例	139
6.3 IIC 总线	142
6.3.1 IIC 概述	142
6.3.2 IIC 模块结构	143
6.3.3 EEPROM 存储器简介	146
6.3.4 IIC 模块编程示例	148
6.4 点阵型 LCD	153
6.4.1 工作原理	153
6.4.2 电路介绍	157
6.4.3 软件设计	158
6.5 TFT 型 LCD	161
6.5.1 工作原理	162
6.5.2 电路介绍	164
6.5.3 软件设计	165
6.6 温度传感器	171

6.6.1	工作原理	171
6.6.2	电路介绍	174
6.6.3	软件设计	174
6.7	实时时钟	180
6.7.1	实时时钟概述	180
6.7.2	实时时钟模块结构	181
6.7.3	RTC 模块编程示例	186
6.8	脉宽调制器	191
6.8.1	脉宽调制器概述	191
6.8.2	PWM 模块结构	192
6.8.3	PWM 模块编程示例	197
6.9	看门狗	201
6.9.1	工作原理	201
6.9.2	模块结构	201
6.9.3	编程示例	203
6.10	模/数、数/模转换	207
6.10.1	工作原理	207
6.10.2	LPC2136 的 A/D 模块介绍	208
6.10.3	LPC2136 的 D/A 模块介绍	211
6.10.4	电路介绍	212
6.10.5	软件设计	212
6.11	PS/2 接口	215
6.11.1	PS/2 接口工作原理	215
6.11.2	PS/2 键盘编码与命令集	217
6.11.3	电路介绍	219
6.11.4	软件设计	219
6.12	MP3 音乐播放	223
6.12.1	MP3 文件格式	223
6.12.2	电路介绍	223
6.12.3	软件设计	229
6.13	SD 卡	232
6.13.1	工作原理	233
6.13.2	电路介绍	238
6.13.3	软件设计	239
6.14	USB 接口	244
6.14.1	USB 接口简介	245
6.14.2	USB 协议	245
6.14.3	USB 控制芯片介绍	247
6.14.4	电路介绍	250

6.14.5 软件设计	250
6.15 CAN 总线	257
6.15.1 CAN 总线概述	257
6.15.2 CAN 协议概述	258
6.15.3 CAN 总线控制器 SJA1000 概述	259
6.15.4 实验使用的通信协议及主要程序分析	263
第 3 篇 多核心单片机教学实验平台设计	
第 7 章 单片机平台系统需求分析与总体设计	271
7.1 系统概述	271
7.2 系统需求分析	272
7.2.1 硬件需求分析	272
7.2.2 软件需求分析	274
7.3 系统设计	274
7.3.1 AVR 转接板设计	274
7.3.2 主板硬件模块设计	275
7.3.3 处理器资源分配	277
7.4 软件框架	278
第 8 章 模块设计与软件分析	280
8.1 流水灯	280
8.1.1 工作原理	280
8.1.2 电路介绍	280
8.1.3 软件设计	280
8.2 键盘和数码管	281
8.2.1 工作原理	282
8.2.2 电路介绍	284
8.2.3 软件设计	285
8.3 点阵 LCD	287
8.3.1 电路介绍	287
8.3.2 软件设计	288
8.4 语音模块	291
8.4.1 工作原理	291
8.4.2 电路介绍	293
8.4.3 软件设计	293
8.5 继电器	299
8.5.1 工作原理	299
8.5.2 电路介绍	300

8.5.3	软件设计	300
8.6	串口模块	301
8.6.1	工作原理	301
8.6.2	电路介绍	301
8.6.3	软件设计	301
8.7	蜂鸣器	303
8.7.1	工作原理	303
8.7.2	电路介绍	303
8.7.3	软件设计	304
8.8	红外模块	306
8.8.1	工作原理	306
8.8.2	电路介绍	307
8.8.3	软件设计	307
8.9	步进电机	310
8.9.1	电路介绍	310
8.9.2	软件设计	311

第4篇 嵌入式系统仿真设计

第9章	基于 Proteus 的嵌入式系统仿真	317
9.1	Proteus 开发环境简介	317
9.2	基于 Proteus 的仿真电路设计流程	318
第10章	基于 ARM 的嵌入式系统仿真	326
10.1	蜂鸣器与继电器	326
10.1.1	电路介绍	326
10.1.2	软件设计	327
10.1.3	Proteus 仿真	328
10.2	键盘	329
10.2.1	工作原理	329
10.2.2	电路介绍	330
10.2.3	软件设计	330
10.2.4	Proteus 仿真	333
10.3	LED 与数码管	334
10.3.1	电路介绍	334
10.3.2	软件设计	335
10.3.3	Proteus 仿真	336
10.4	LED 点阵	337
10.4.1	工作原理	338

10.4.2	电路介绍	338
10.4.3	软件设计	339
10.4.4	Proteus 仿真	341
10.5	字符型 LCD	342
10.5.1	1602 工作原理	342
10.5.2	1602 工作环境和主要操作	343
10.5.3	电路介绍	347
10.5.4	软件设计	348
10.5.5	Proteus 仿真	352
第 11 章	基于单片机的嵌入式系统仿真	353
11.1	CRC 校验码	353
11.1.1	工作原理	353
11.1.2	电路介绍	354
11.1.3	软件设计	354
11.1.4	Proteus 仿真	358
11.2	数据存储器扩展	359
11.2.1	工作原理	359
11.2.2	电路介绍	361
11.2.3	软件设计	362
11.2.4	Proteus 仿真	362
11.3	中断式按键	363
11.3.1	电路介绍	363
11.3.2	软件设计	364
11.3.3	Proteus 仿真	365
11.4	LED 点阵	366
11.4.1	电路介绍	366
11.4.2	软件设计	366
11.4.3	Proteus 仿真	369
11.5	温度传感器	369
11.5.1	电路介绍	369
11.5.2	软件设计	370
11.5.3	Proteus 仿真	373
附录 A	Keil 安装简介	374
附录 B	Altium Designer 安装简介	377
附录 C	Proteus 安装简介	382

第 1 篇 嵌入式系统开发概述

- 绪论
- 处理器与开发环境
- 嵌入式系统设计流程

第1章 绪 论

本章主要介绍嵌入式系统的基础知识,通过对其定义、基本特点、应用与发展、软硬件各部分组成及设计流程等内容的讲解,帮助读者建立嵌入式系统的整体概念。

1.1 嵌入式系统概述

随着半导体工艺技术的发展,特别是大规模集成电路的出现,嵌入式系统已经成为当今最热门的领域之一。使用嵌入式技术的数码相机、电视机机顶盒、移动临床助理和智能家电等电子嵌入式系统随处可见,嵌入式设备在应用数量上已远远超过通用计算机。

1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统诞生于微机时代,经历了初期的单片机发展阶段,现在已经渗透到日常生活中的各个角落。嵌入式系统属于计算机系统的分支,国际电气和电子工程师协会(the Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)对嵌入式系统的定义是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置(devices used to control, monitor or assist the operation of equipment, machinery or plants)”。

在国内,普遍认同的嵌入式系统定义是“以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统”。这个定义更侧重细节,明确了嵌入式从属的领域及各个特点,从中可以看出嵌入式系统与应用结合紧密,具有很强的专用性。

嵌入式系统的定义还会随着时代的前进而不断地变化,新技术的产生和发展会赋予其新的内涵。嵌入式技术将会不断前进,嵌入式系统也将会取得新的突破。

1.1.2 嵌入式系统的特点

嵌入式系统的定义表明其具有以下特点。

1. 专用性

嵌入式系统直接面向用户、面向产品和面向特定应用,其硬件和软件结合非常紧密,并且直接针对特定用户群而设计,有很强的专用性。即使同一品牌、同一系列的嵌入式系统,当硬件结构发生变化时,也需要对软件系统进行较大修改。

2. 可裁剪性

从专用性的特点来看,嵌入式设备生产商应为不同的用户需求提供不同的硬件和软件组合,但这样做会显著提高嵌入式系统的成本,因此必须采取一定措施,使嵌入式系统在通用和专用之间达到相对平衡。目前的做法是以可裁剪的形式设计嵌入式系统硬件以及嵌入式操作系统。开发人员根据实际应用需要来量体裁衣、去除冗余,从而使系统在满足需求的

前提下实现最精简的配置。

3. 低功耗

嵌入式设备大多是一些小型应用系统,例如移动电话、MP3 和数码相机等,这些设备不可能配备大容量电池,因此,为了系统能够较长时间工作,在设计嵌入式系统时,应尽可能降低功耗。

4. 高可靠性

某些嵌入式系统所承担的计算任务涉及人身安全和国家机密等重大事务,或者运行于无人值守的场合,例如危险性高的工业环境或战场的敌占区,所以必须提高系统的可靠性。目前,一般通过将嵌入式系统中的软件固化在存储器芯片或单片系统的存储器中,实现对系统高可靠性的要求。

1.1.3 嵌入式系统的应用与发展

进入 21 世纪以来,嵌入式系统发展迅猛,在工业控制、消费类电子、航空航天、军事国防和网络设备等领域得到了广泛的应用,前景广阔。图 1.1 列出了几种典型的嵌入式系统。

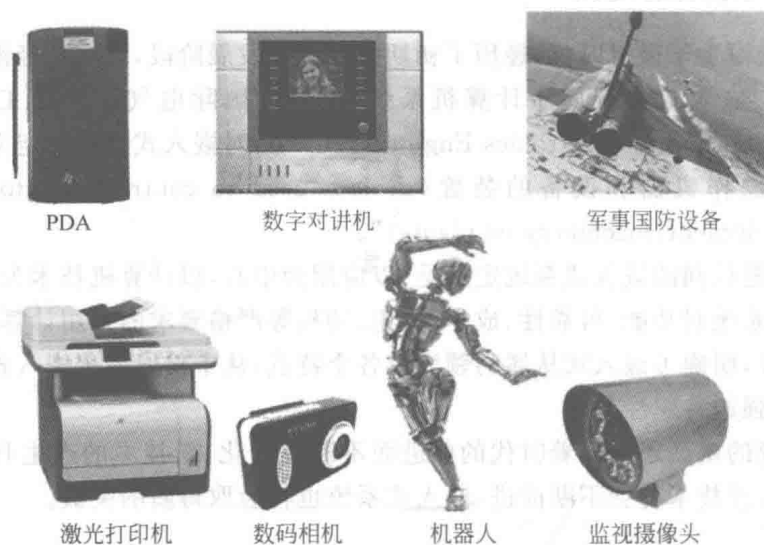


图 1.1 典型的嵌入式系统

信息化、智能化和网络化的发展为嵌入式系统提供了巨大的发展机遇,同时也对嵌入式系统生产商提出了新的挑战。继续优化嵌入式系统,在硬件、功耗、速度和成本方面找到一个最佳的平衡点,仍然是嵌入式系统开发人员追求的目标。为了适应数字化和信息化的发展,嵌入式设备需要提供网络通信接口,实现网页浏览和远程数据访问的功能,提供更加友好的多媒体人机界面,支持手写文字输入、语音拨号上网、收发电子邮件以及更美观的彩色图形、图像显示,使用户获得更加自由的感受。

嵌入式系统正在改变着人们的生活、工作和娱乐方式,其在产业发展中的重要性也不断提升。纵观历史,展望前景,嵌入式系统必将成为未来电子技术的擎天支柱。

1.2 嵌入式系统硬件设计

1.2.1 概述

嵌入式系统硬件是以嵌入式微处理器(Micro Processor Unit, MPU)为中心,配合外围电路及接口电路组成,典型结构如图 1.2 所示。其中,MPU 是核心部件,外围电路一般包括电源(POWER)、时钟模块(RTC)、液晶显示器(LCD)、键盘(KEY)、随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)、只读存储器(Read-Only Memory, ROM)、闪存(Flash)、SD 卡和 MMC 卡等部分;接口电路一般包括 USB 接口、以太网端口(Ethernet)、串行口(UART)、无线保真(Wireless Fidelity, WiFi)和蓝牙(Bluetooth)接口等。在嵌入式系统硬件设计中,应根据系统需求选择合适的处理器、外围电路以及须提供的接口,这些硬件组成部分决定了系统具有的基本功能。

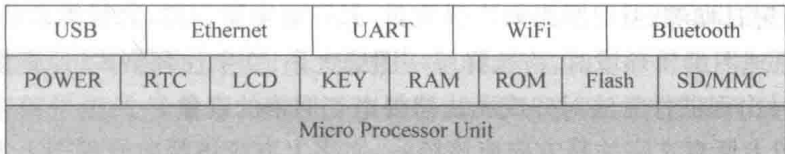


图 1.2 嵌入式系统硬件典型结构

1.2.2 设计流程

嵌入式系统的硬件设计通常包括以下几个阶段。

1. 系统需求分析

本阶段需要明确系统设计任务和设计目标,形成设计规格说明书,作为正式设计的指导原则和检验标准。需求分析过程一般按照功能性需求和非功能性需求两方面进行,前者描述系统必不可少的基本组成部分,陈述系统的功能;后者与系统功能无直接关系,但与用户直接相关,体现为系统的各方面特性,包括运行成本、功耗以及性能指标等因素。

2. 元器件选型

本阶段须根据硬件设计的总体需求,如 MPU 处理能力、存储容量、速度要求、电平要求和带载能力等信息,查询相关器件的技术资料,经过对同类型器件特性的对比和分析,选定最适合系统的元器件。在器件选型过程中应遵循可靠性、普遍性、高性价比、可替代性以及向上兼容的原则。

3. 核心电路验证

核心电路设计是整个硬件设计的重中之重,核心电路方案的可行性直接关系到硬件设计工作的展开,因此很有必要在硬件电路设计初期阶段,对核心电路方案进行验证。方案验证时主要注意以下几个问题。

(1) 深入理解核心电路的工作原理,确定核心电路正常工作的关键因素是验证工作的前提。