

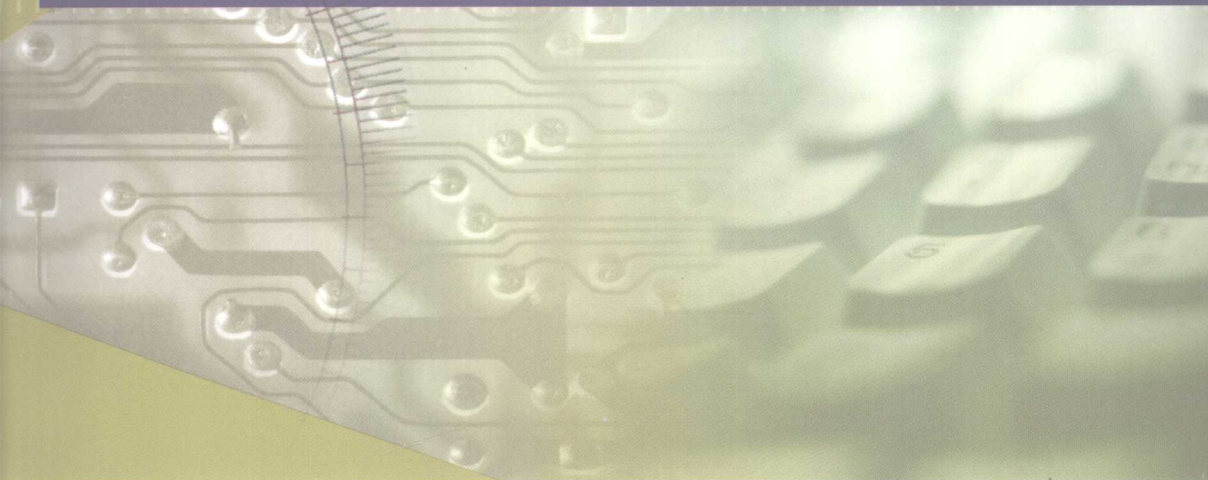
QIANRUSHI WEIJI JIANKONG XITONG
JICHU LILUN JI YINGYONG

高等学校教材

QIANRUSHI WEIJI JIANKONG XITONG JICHU LILUN JI YINGYONG

嵌入式微机监控系统 基础理论及应用

孙启国 蒋兆远 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

嵌入式微机监控系统 基础理论及应用

孙启国 蒋兆远 主编
周美玉 主审

中国铁道出版社

2008年·北京

内 容 简 介

全书共分9章,主要包括:嵌入式系统的基本概念及其发展;基于ARM7TDMI核的嵌入式微处理器S3C44B0X的软硬件资源;嵌入式系统中用户应用程序设计开发的基础知识;嵌入式微机监控系统的设计基础与调试工具;嵌入式系统开发所涉及的总线技术;嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 及其在不同芯片上的移植方法和工程应用实例;基于S3C44B0X的嵌入式微机监控系统外围电路设计及软硬件调试方法;嵌入式系统在铁路交通运输和物流工程领域的应用实例。每章后均附有习题供读者学习时参考。

本书可作为高等院校自动化、机电工程、测控技术、计算机应用等专业本科生和研究生教材,也可作为从事相关专业工程技术人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式微机监控系统基础理论及应用/孙启国,蒋兆远主编. —北京:中国铁道出版社,2008.10

ISBN 978-7-113-08054-9

I. 嵌… II. ①孙…②蒋… III. 微型计算机—计算机监控—控制系统 IV. TP277

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第154872号

书 名:嵌入式微机监控系统基础理论及应用

作 者:孙启国 蒋兆远 主编

责任编辑:金 锋

电话:(010)51873134

电子信箱:jinfeng88428@163.com

封面设计:冯龙彬

责任校对:孙 玫

责任印制:金洪泽 陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

版 次:2008年10月第1版 2008年10月第1次印刷

开 本:787mm×960mm 1/16 印张:25.5 字数:518千

印 数:1~3 000册

书 号:ISBN 978-7-113-08054-9/TP·2412

定 价:47.50元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电话:(市电)010-51873170 (路电)021-73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

兰州交通大学“十一五”规划教材 编审委员会

主 任：任恩恩

副主任：王晓明 盖宇仙

委 员：（按姓氏笔划排名）

王 兵 朱 琨 陈宜吉

姜国栋 谢瑞峰 虞庐松

主 编：孙启国 蒋兆远

出版说明

近年来,兰州交通大学认真贯彻落实教育部有关文件精神,不断推进教育教学改革。学校先后出资数百万元,设立了教学改革、专业建设、重点课程(群)建设、教材建设等项基金,并制定了相应的教学改革与建设立项计划、项目管理及奖励办法等措施。根据培养“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高、具有创新精神的应用型的高级专门人才”的培养目标,学校各院(系、部)认真组织广大教师积极参加教学改革与建设,开展系统的研究与实践,取得了一系列教学改革与建设成果。

教学内容和课程体系的改革是教学改革的重点和难点,学校投入力量最大,花费时间最长,投入精力最多,取得的成效也最为显著,突出反映在教材建设方面。“十五”期间,学校共资助“十五”规划教材45本,资助普通教材56本,这些教材是一些学术造诣较深、教学水平较高、教学经验比较丰富的教师担任主编,骨干教师参编,同行专家主审而定稿的。在教材中凝聚了编著教师多年的教学、科研积累和成果,为推进教育创新、深化教学改革、提高教学质量做出了贡献。

2005年,在认真学习教育部相关文件精神的基础上,根据学校的办学指导思想和人才培养目标定位,各专业修订了新的人才培养方案,构建了“通识教育基础上的宽口径专业教育”的人才培养模式。为配合新的人才培养方案的实施,进一步深化教育教学改革,学校在“十五”教材建设的基础上,制定了“十一五”教材建设规划。“十一五”期间,学校将进一步加强教材建设工作,更好地发挥教材在人才培养中的重要作用。本着“重点支持优势、特色专业教材,兼顾一般教材,优选编者,保证质量”的原则,设立教材建设专项基金,力争在“十一五”期间出版一批高水平、高质量、有特色的教材。

本教材为学校“十一五”教材建设资助计划项目,并通过了学校教材编审委员会审定。希望该教材在教学实践过程中,广泛听取使用意见和建议,适时进一步修改、完善和提高。

兰州交通大学“十一五”规划
教材评审委员会
2006年4月

前 言

随着微细加工技术支持的微型计算机技术的飞速发展,形成了以应用为中心的现代计算机发展的专业化分工:嵌入式计算机系统(简称嵌入式系统)和通用计算机系统,使计算机成为人类社会进入全面智能化时代的有力工具。

目前嵌入式系统技术已经成为最热门的技术之一,各种各样的新型嵌入式系统应用数量上已经远远超过了通用计算机。随着国内外各种嵌入式产品的进一步开发和推广,嵌入式系统已经广泛地渗透到科学研究、工程设计、军事技术和商业、文化、艺术活动以及人们的日常生活等方方面面中。可以说,嵌入式系统是现代信息社会的基础,是现代高素质生活的保障,也是现代化的必由之路。

与传统的通用计算机系统不同,嵌入式系统面向特定应用领域,以应用为中心,根据应用需求定制开发,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等的严格要求,嵌入式软件已成为产品的数字化改造、智能化增值的关键性、带动性技术。作为中国信息产业的重要新兴产业和经济增长点,嵌入式系统产业规模持续增长,发展嵌入式系统产业也已成为由“中国制造”向“中国创造”转变的突破口。嵌入式系统反映了当代最新技术的先进水平,普及嵌入式系统开发应用技术就是提高核心竞争力,掌握嵌入式系统开发应用技术的人才是社会急需人才,这也正是工科院校大学生学习嵌入式系统基础理论及其应用知识的意义所在。

嵌入式系统用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能,它包括硬件平台和软件平台两部分。嵌入式芯片和外围硬件设备组成了嵌入式系统的硬件资源,其核心是嵌入式处理器等嵌入式芯片。嵌入式操作系统以及用户的应用程序组成了嵌入式系统的软件部分。因此学习、研究和开发嵌入式系统需要从嵌入式处理器入手,掌握以处理器为核心的硬件平台的基础知识及设计方法。在此基础上进行嵌入式操作系统及应用软件的开发,从而形成完整的软硬件协同应用技术平台。

对高等院校自动化、机电工程、测控技术、计算机应用等专业来说,本课程是一门专业基础课。本书从嵌入式系统的软硬件基础出发,讲述嵌入式系统的基础理论及相关应用和设计知识,并结合作者在开发嵌入式微机监控系统过程中的实践经验,通过典型工程案例详细剖析嵌入式系统产品的设计开发技术及其应用。

全书共分九章。第一章为绪论;第二、三、四章主要介绍了基于 ARM7TDMI 核

的嵌入式微处理器 S3C44B0X 的软硬件资源,以及嵌入式系统中用户应用程序设计开发的基础知识;第五章介绍了嵌入式微机监控系统的设计基础与调试工具;第六章介绍了嵌入式系统开发所涉及的总线技术;第七章详细介绍了嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 及其在不同芯片上的移植方法和工程应用实例;第八章介绍了基于 S3C44B0X 的嵌入式微机监控系统外围电路设计及软硬件调试方法;第九章结合兰州交通大学机电技术研究所在工程实践中的开发实例,介绍了嵌入式系统在铁路交通运输和物流工程领域的应用。

本书由兰州交通大学孙启国教授和蒋兆远教授主编,西南交通大学周美玉教授主审。参加编写工作的还有兰州交通大学机电技术研究所的卫晓娟副教授、杜亚江副教授、邱建东工程师、董海棠副教授。另外机电技术研究所的硕士研究生康会峰、张丽等同学也参与了本书的部分编写、文稿整理、绘图、文字校核等工作,在此一并表示感谢。另外,衷心感谢兰州交通大学教材建设基金的专项资助!

嵌入式系统是一个技术密集、投资强度大、高度分散、不断创新的知识集成系统,许多技术还在发展之中,这给本书的编写增加了许多困难,尽管作者已尽了最大努力,但由于受学识水平所限,加之时间仓促,不当之处在所难免,还望广大读者给予批评指正。

作者

2008 年 1 月于兰州交通大学



目 录

第一章 绪 论	1
第一节 嵌入式系统的概念	1
第二节 嵌入式系统的发展	13
第三节 嵌入式系统的应用	17
习 题	20
第二章 嵌入式微处理器 S3C44B0X 硬件基础	21
第一节 ARM 微处理器简介	21
第二节 S3C44B0X 芯片引脚及信号定义	37
第三节 S3C44B0X 的内部结构及可编程组件	47
习 题	96
第三章 ARM7TDMI (-S) 指令系统	98
第一节 ARM 微处理器的指令集概述	98
第二节 ARM 指令的寻址方式	102
第三节 ARM 指令集系统分类详述	105
第四节 Thumb 指令介绍	123
习 题	139
第四章 基于 S3C44B0X 的嵌入式系统应用程序设计	141
第一节 ARM 汇编语言伪指令	141
第二节 汇编语言程序设计	155
第三节 ARM C 语言程序设计	164
第四节 ARM C 语言与汇编语言混合编程	169
习 题	181
第五章 嵌入式微机监控系统的设计基础与调试工具	182
第一节 嵌入式微机监控系统的一般构成	182
第二节 嵌入式微机监控系统的设计基础	183
第三节 嵌入式系统的开发工具	191
第四节 嵌入式微机监控系统的调试方法	208

习 题	209
第六章 嵌入式微机监控系统中的总线技术	210
第一节 总线技术概述	210
第二节 ISA 总线	216
第三节 PCI 总线	224
第四节 I ² C 总线	232
第五节 CAN 总线	237
习 题	246
第七章 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统及其在嵌入式系统中的应用	247
第一节 嵌入式操作系统概述	247
第二节 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的特点	249
第三节 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核结构	251
第四节 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的移植	268
第五节 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 应用实例	296
习 题	304
第八章 以 S3C44B0X 为核心的嵌入式微机监控系统的设计开发	305
第一节 以 S3C44B0X 为核心的嵌入式微机监控系统硬件设计	305
第二节 以 S3C44B0X 为核心的基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式微机监控系统的 软件设计	330
第三节 系统调试	346
习 题	362
第九章 基于 S3C44B0X 的工程案例	364
第一节 嵌入式机车设备状态检测与故障诊断系统	364
第二节 无线仓储管控系统智能监控仪设计	385
习 题	396
参考文献	397



第一章 绪 论

计算机尤其是以微细加工技术支持的微型计算机技术的飞速发展,极大地促进了嵌入式系统(Embedded System)的发展。以单片机、嵌入式处理器等为核心的嵌入式计算机系统(简称嵌入式系统),以其软硬件可裁剪、高度的可靠性、功能齐全、低功耗、适应面广等诸多优点而得到极为广泛的应用。而且,在新的世纪里,它们将以超过 CPU 增长的速度迅猛增长。

随着国内外各种嵌入式产品的进一步开发和推广,嵌入式系统已经广泛地渗透到科学研究、工程设计、军事技术、各类产业和商业文化艺术以及人们的日常生活等方面中。在今后的若干年里,嵌入式系统将是 IT 业的一个热点,嵌入式技术会越来越和人们的生活紧密结合,嵌入式系统的应用也必将更为广泛深入。本章着重介绍嵌入式系统的概念、嵌入式系统的组成与特点、嵌入式系统的发展以及嵌入式系统的应用。

第一节 嵌入式系统的概念

嵌入式系统是嵌入到对象体系中的专用计算机系统。以嵌入式计算机为核心的嵌入式系统是继 IT 网络技术之后,又一个新的技术发展方向。嵌入式系统应用范围非常广泛。可以说除了桌面计算机和服务器外所有计算设备都属于嵌入式系统,例如,各种便携式装置、工业应用中的实时测控系统等。

那么什么是嵌入式系统?应该怎么来理解嵌入式系统呢?

嵌入式系统因其工作任务的需要,大多都具有实时性的要求。嵌入式系统通过相应的硬件和软件来满足这一要求。在实际应用中,嵌入式系统的有些功能需要非常快的主频以满足实时性需要,但是大多数情况下,嵌入式系统的多数功能并不需要一味单纯地追求高速的处理能力,而是要综合考虑性能和成本的比重。所以,和速度一样,成本也是体现嵌入式系统的一个重要元素。但是,这并不意味着可以简单地通过速度和成本来定义嵌入式系统。

IEEE(国际电气和电子工程师协会)从应用对象的角度出发对嵌入式系统加以



阐释：嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装置”（原文为 An Embedded system is the devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants.）。这一阐释涵盖了软硬件及辅助机械设备，但是，并不能充分体现出嵌入式系统的精髓。关于嵌入式系统，比较而言，目前国内普遍认同的定义则更为全面。

一、嵌入式系统的定义

嵌入式系统定义为：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。

上述阐释就是目前国内嵌入式系统领域对嵌入式系统的定义，这一定义体现了嵌入式系统的“嵌入”、“专用性”、“计算机”的基本要素和特征。

和原有的通用计算机系统不同，嵌入式系统是嵌入到对象体系中，实现对象体系智能化控制的专用计算机系统。因此，嵌入式系统的嵌入性本质是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去，这是理解嵌入式系统的基本出发点。具体来讲，可以从嵌入式系统的基本要素和特征：“嵌入性”、“专用性”、“计算机系统”这三个方面来理解国内对嵌入式系统的定义。

1. “嵌入性”的体现

由于是嵌入到对象体系中去，因此嵌入式系统除必须满足对象系统的功能要求以外，还必须满足对象系统的环境要求，如物理环境（体积）、电气环境（可靠）、成本（价廉）等要求。所以，嵌入式系统必须根据应用需求可对软硬件进行裁剪，以满足对象系统的应用功能和应用环境要求。目前嵌入式系统的核心往往是一个只有几KB到几十KB的微内核，需要根据实际应用要求进行功能扩展或者裁剪，但是由于微内核的存在，使得这种扩展能够非常顺利地进行。

2. “专用性”的体现

嵌入式系统是与应用紧密结合的，它具有很强的专用性，必须结合实际对象系统的需求，对软、硬件进行合理地裁剪，实现能够满足对象系统要求的最小软、硬件配置，才能使得嵌入式系统具有更强的生命力和更大的优势，真正体现嵌入式系统“面向用户、面向产品、面向应用”的专用性特征。

3. “计算机系统”特征的体现

嵌入式系统和一般的PC机上的应用系统不同，它必须是能够满足对象系统控制要求的专用计算机系统。与前两个特征相呼应，这样的计算机系统必须配置有与对象系统相适应的接口电路，这就意味着针对不同的具体应用而设计的嵌入式系统之间差别也会很大。但总的来说，嵌入式系统是将先进的计算机技术、通信技术、半导体技术、微电子技术、语音图像数据传输技术，甚至传感器等先进技术和各个行业的具体

应用对象相结合后的产物。因此决定了它必然是一个技术密集、投资强度大、高度分散、不断创新的知识集成系统。

嵌入式系统反映了当代最新技术的先进水平。同时还应该看到,嵌入式系统本身是一个外延极广的名词。凡是与产品结合在一起的具有嵌入式特点的测控系统都可以叫嵌入式系统。现在人们讲嵌入式系统时,某种程度上是指近些年来比较热门的具有实时操作系统的嵌入式系统。

二、嵌入式系统的组成

嵌入式系统用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能,它包括硬件平台和软件平台两部分。嵌入式芯片和外围硬件设备(包括存储器、外设器件、I/O 端口、图形控制器等)组成了嵌入式系统的硬件资源;嵌入式操作系统(要求实时和多任务操作)以及用户的应用程序组成了嵌入式系统的软件部分(有时设计人员把嵌入式操作系统和用户应用程序组合在一起,应用程序控制着系统的运作和行为;而操作系统控制着应用程序与硬件的交互作用)。

嵌入式系统的构架如图 1-1 所示。

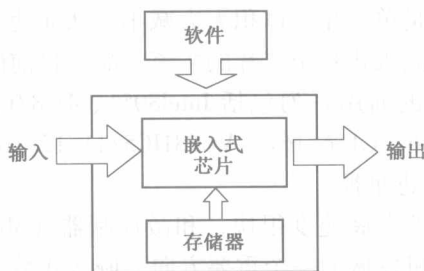


图 1-1 嵌入式系统的构架

(一) 嵌入式系统的硬件

嵌入式系统的硬件平台通常是以嵌入式芯片为核心,配置必要的外围接口部件组成。

1. 嵌入式芯片

嵌入式芯片包括嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor Unit, EMPU)、嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller Unit, EMCU)、嵌入式数字信号处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)及嵌入式片上系统(Embedded System on a Chip, ESoC)/嵌入式可编程片上系统(Embedded System on Programmable Chip, ESoPC)。

(1) 嵌入式微处理器



嵌入式微处理器就是与通用计算机的微处理器对应的 CPU。在应用中,早期的嵌入式系统是将微处理器装配在专门设计的电路板上,并在电路板上设计了与嵌入式系统相关的功能模块,这样可以满足嵌入式系统体积小和功耗低的要求。目前的嵌入式微处理器为了满足嵌入式应用的特殊要求,虽然在功能上和标准微处理器基本是一样的,但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了各种增强。

随着嵌入式系统复杂性的提高,控制算法更加复杂。嵌入式 Internet 的广泛应用、嵌入式操作系统的引入以及触摸屏等复杂人机接口的使用,使 32 位处理器的应用也日趋广泛。

嵌入式微处理器目前主要包括: Am186/88、386EX、PowerPC、Motorola 68000、ARM、MIPS 等系列。

(2) 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器又称单片机,因为微控制器的片上外设资源一般比较丰富,适合于控制,因此也称为微控制器。嵌入式微控制器将 CPU、存储器 (RAM、ROM/EPROM/EEPROM、Flash RAM)、定时器/计数器、Watchdog、I/O、串行口、A/D、D/A、脉宽调制输出以及其他外设封装在同一片集成电路里。与嵌入式微处理器相比,微控制器的最大特点是单片化,体积大大减小,从而使功耗和成本降低,可靠性提高。嵌入式微控制器是嵌入式系统芯片的主流产品。目前嵌入式微控制器的品种和数量很多,比较有代表性的通用系列包括 Intel8051、DS87C520/DS89C430、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、VC68HC5/11/12/16、68300 等。

(3) 嵌入式数字信号处理器

嵌入式数字信号处理器发展速度很快,和微控制器 (Microcontrouer Unit, MCU) 结合在一起,是近期单片机发展的一个重要方向。嵌入式数字信号处理器专门用来对离散时间信号进行快速的处理计算,提高了编译效率和执行速度。嵌入式数字信号处理器对系统结构和指令进行了特殊设计,使其适合于执行 DSP 算法,编译效率较高,指令执行速度也较高。在数字滤波、FFT、谱分析等方面,DSP 算法正在大量进入嵌入式领域,DSP 应用正在从通用微处理器中以普通指令实现 DSP 功能,过渡到采用嵌入式数字信号处理器实现 DSP 功能。嵌入式数字信号处理器有两个发展方向:一是经过单片化设计,片上增加丰富的外设,使之成为具有高性能 DSP 功能的 SoC (System on a Chip);二是在通用微处理器、微控制器或 SoC 中增加 DSP 协处理器,例如 Intel 公司的 MCS-296。推动嵌入式数字信号处理器发展的是嵌入式系统的智能化,例如各种带有智能逻辑的消费类产品、生物信息识别终端、带有加解密算法的键盘、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line, 非对称数字用户线路) 接入和实时语音解压系统等。智能化算法的运算量一般都较大,特别是矢量运算、指针线性寻址等,而这些正是嵌入式数字信号处理器的长处所在。而随着嵌入式处理器技术的发



展,许多嵌入式微处理器已设计、集成了 DSP 的主要功能,也留有特殊算法的协处理器接口,这样很容易设计具有 DSP 功能的高性能嵌入式 SoC。

(4) 嵌入式片上系统/嵌入式可编程片上系统

嵌入式片上系统和嵌入式可编程片上系统,即系统芯片,是今后的主要发展方向。PC 机已实现片上系统,大型计算机也要实现片上系统。

①嵌入式片上系统。20 世纪 90 年代后,嵌入式系统设计从以嵌入式微处理器/DSP 为核心的“集成电路”级设计不断转向“集成系统”级设计,提出了 SoC 的基本概念。目前嵌入式系统已进入单片系统 SoC 的设计阶段,并开始逐步进入实用化、规范化阶段,集成电路已进入 SoC 的设计流程。

系统芯片出现的原因是信息市场的快速变化和竞争的日益加剧,使得新产品在市场上的生命周期大为缩短,平均从 36 个月缩短为 9~15 个月,而具有原始创新思想的产品的设计周期也大为缩短,这样 Time-to-Market 给 SoC 提供了良好的发展空间。随着高性能系统对系统复杂度、处理速度、功耗、功能多样化的需求,在信息处理与通信系统如网络、多媒体、移动通信中迫切需要开发高性能的 SoC 芯片,传统的通过多种芯片集成于系统的方法已很难满足实际发展中对高性能的需求。因此市场的需求对传统的 IC(集成电路)设计和系统设计提出了新的挑战,使得整机和 IC 设计在一个产品的设计初期就必须紧密结合于一体。另外,成本、价格、可靠性等对集成电路设计者也同样提出新的挑战。因此,不断发展和竞争日益激烈的信息市场不断地推动着 SoC 技术的迅速发展。

集成电路技术自身的不断发展、器件特征尺寸的不断缩小、集成度的不断提高、多种工艺及工艺集成技术的发展、设计方法的改进和 EDA 工具的发展,为将一个应用系统融合为 SoC 从技术上提供了可能。进入 21 世纪后,集成电路设计进入了高度集成的 SoC 时代,采用 SoC 设计技术,可大幅度提高系统的可靠性,减小系统面积,降低系统成本和功耗,极大地提高系统的性能价格比。

SoC 技术的出现,表明了微电子设计由以往的 IC 向 IS(集成系统)发展,因此,以功能设计为基础的传统 IC 设计流程必须转变到以功能整合为基础的 SoC 设计全新流程,而面向嵌入式系统的 SoC 设计将是未来推动集成电路设计业发展至关重要的因素。

这种设计方法不是把系统所需要用到的所有集成电路简单地二次集成到一个芯片上,如果那样实现单片系统,是不可能达到单片系统所要求的高密度、高速度、高性能、小体积、低电压、低功耗等指标的,特别是低功耗要求。单片系统设计要从整个系统性能要求出发,把微处理器、模型算法、芯片结构、外围器件各层次电路直至器件的设计紧密结合起来,并通过建立在全新理念上的系统软件和硬件的协同设计,在单个芯片上实现整个系统的功能。有时,也可能把系统做在几个芯片上,这是因为,



实际上并不是所有系统都能在一个芯片上实现；还可能因为实现某种单片系统的工艺成本太高，以至于失去商业价值。目前，进入实用的单片系统还属简单的单片系统，如智能 IC 卡等。

如果单片系统设计从零开始，既不现实，也无必要。因为除了设计不成熟，未经过时间考验，系统性能和质量得不到保证外，还会因为设计周期太长而失去商业价值。为了缩短单片系统设计周期和提高系统的可靠性，目前最有效的一个途径就是通过授权，使用已成熟且经过优化的 IP (Intellectual Patent, 知识产权) 内核模块来进行设计集成和二次开发，利用胶黏逻辑技术 GLT (Glue Logic Technology)，把这些 IP 内核模块嵌入到 SoC 中。IP 内核模块是单片系统设计的基础。究竟购买哪一级 IP 内核模块，要根据现有基础、时间、资金和其他条件权衡确定。购买硬 IP 内核模块风险最小，但付出最大，这是必然的。但总的来说，通过购买 IP 内核模块，不仅可降低开发风险，还能节省开发费用，因为一般购买 IP 内核模块的费用要低于自己单独设计和验证的费用。当然，并不是所需要的 IP 内核模块都可从市场上买得到。为了垄断市场，有些公司开发出来的关键 IP 内核模块（至少暂时）是不愿意授权转让使用的。像这样的 IP 内核模块就不得不自己组织力量来开发。

②嵌入式可编程片上系统。用可编程逻辑技术把整个系统放到一块硅片上，称作可编程片上系统 (SOPC)。SOPC 是一种特殊的嵌入式系统：首先它是 SoC，即由单个芯片实现整个系统的主要逻辑功能，具有一般 SoC 的基本属性；其次，它又具备软硬件可编程的功能，是可编程系统，具有可裁剪、可扩充、可升级等灵活的设计方式。SOPC 技术是可编程逻辑器件在嵌入式应用中的完美体现。SOPC 结合了 SoC、PLD (Programmable Logic Device, 可编程逻辑器件) 和 FPGA (Field Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列) 各自的优点，一般具备以下基本特征：

- 实现复杂系统功能的 VLSI (Very Large Scale Integration, 超大规模集成电路)；
- 采用超深亚微米工艺技术；
- 使用一个以上的嵌入式处理器/DSP；
- 外部可对芯片进行编程；
- 主要采用第三方 IP 进行设计；
- 足够的片上可编程逻辑资源。

许多测试设备，如逻辑分析仪和数字示波器，已很难进行直接测试分析，因此，必将对以仿真技术为基础的软硬件协同设计技术提出更高的要求。同时，新的调试技术也将不断涌现。

SOPC 是 PLD 和 ASIC (Application Specific Integrated Circuits, 即专用集成电路) 技术的融合，目前，ASIC 产品制造价格仍然相当昂贵；相反，信号处理算法、软件算法模块、控制逻辑等均可以 IP 核形式体现，集成了硬核或软核 CPU、DSP、存储



器、外围 I/O 及可编程逻辑的 SOPC 芯片在应用上具有极大的灵活性,在价格上具有极大的优势,因此 SOPC 被业界称为“半导体产业的未来”。

2. 嵌入式外围接口电路和设备接口

嵌入式外围设备,是指在一个嵌入式系统硬件构成中,除了核心控制部件——嵌入式微处理器/DSP (或以嵌入式微处理器/DSP 为核心的微控制器、SoC/ SOPC) 以外的各种存储器、输入/输出接口、人机接口的显示器/键盘、串行通信接口等。根据外围设备的功能可分为以下 5 类。

(1) 存储器类型

存储器是嵌入式系统中存储数据和程序的功能部件。目前常见的存储设备按使用的存储器类型分为:

- 静态易失性存储器 (RAM、SRAM);
- 动态存储器 (DRAM);
- 非易失性存储器 ROM (MASK ROM、EPROM、EEPROM、Flash);
- 硬盘、软盘、CD-ROM 等。

这些存储介质有各自的性能特征,应该根据具体的应用需求,选择最合适的存储器。Flash (闪存) 以可擦写次数多、存储速度快、容量大及价格便宜等优点在嵌入式领域得到广泛的应用。

嵌入式系统的存储器按存储器所处的位置分为内部存储器和外部存储器。内部存储器位于嵌入式处理器所在的同一个芯片中,位于嵌入式处理器内部,这样处理器就不需要多余的访问电路即可快速地访问内部存储器。外部存储器与嵌入式处理器分别处于不同的芯片中,位于嵌入式处理器外部。

(2) 通信接口

目前存在的所有计算机通信接口在嵌入式领域中都有其广泛的应用。应用最为广泛的接口设备包括 RS-232 接口 (串口 UART)、USB 接口 (通用串行总线接口)、红外数据组织 (Infrared Data Association, IrDA)、SPI (串行外围设备接口)、I²C、CAN 总线接口、蓝牙接口 (Bluetooth)、Ethernet (以太网接口)、IEEE1394 接口和通用可编程接口 (GPIO)。

一般在嵌入式系统软件开发调试时,常常通过 UART 来进行各种输入/输出操作。目前以太网接口已成为嵌入式应用中最普遍的网络接口,用于嵌入式系统中的远程数据传输。USB 接口和 IEEE1394 接口普遍用于连接各种数字设备,如数码摄像机、数码照相机、移动 U 盘、移动硬盘等。在无线数据传输中,常见的有 IEEE802.11 系列无线网络传输接口、蓝牙接口以及红外线接口。

(3) 输入/输出设备

CRT、LCD 和触摸屏等,构成了嵌入式系统中重要的信息输入/输出设备,其应



用十分广泛。触摸屏可方便地实现鼠标和键盘功能。

(4) 设备扩展接口

简单的嵌入式系统,如具有简单的记事本、备忘录以及日程计划等功能的 PDA,所存储的数据量并不需要很大的内存。由于目前的嵌入式系统功能越来越复杂,需要大容量内存。大的内存使得系统成本提高和体积加大,因此目前一些高端的嵌入式系统都会预留可扩展存储设备接口,日后用户有特别需求时,可购买符合扩展接口规格的装置,直接接入系统使用。扩展设备很多,但所采用的扩展接口却大同小异,如 PDA 所使用的存储卡,也可与某些规格的数码相机扩展接口通用。

随着嵌入式系统的广泛应用,对便携式扩展存储设备的要求也越来越迫切。PC-MCIA (Personal Computer Memory Card International Association, 个人计算机存储卡国际协会) 是为了开发出低功耗、小体积、高扩展性的一个卡片型工业存储标准扩展装置所设立的协会,它负责对广泛使用的存储卡和 I/O 卡的外形规范、电气特性、信号定义进行管理。根据这些规范和定义而生产出来的外形如信用卡大小的产品叫做 PCMCIA 卡,也称之为 PC-Card。按照卡的介质分为 Flash、SRAM、I/O 卡和硬盘卡;按照卡的厚度分为 I、II、III 和 IV 型卡。广泛使用的 PCMCIA 卡常被嵌入式系统当做对外的扩展装置,应用于笔记本电脑、PDA、数码相机、数字电视以及机顶盒等。

常用的扩展卡还有各种 CF 卡、SD 卡等。目前高端的嵌入式系统都留有一定的扩展卡接口。

(5) 电源及辅助设备

嵌入式系统力求外观小型化,质量轻以及电源使用寿命长,例如移动电话或 PDA,体积较大或者过重的机型已经被淘汰。目前发展的目标是体积小、易携带和外观设计新颖等。在便携式嵌入式系统的应用中,必须特别关注电源装置及辅助设备。

(二) 嵌入式系统的软件

嵌入式系统的软件平台是由嵌入式操作系统和相应的应用软件组成。在现今硬件技术大幅度进步的情况下,软件部分也有着极大的成长空间,软件的开发技术已成为嵌入式系统设计中最为重要的一环。

在设计一个简单的应用程序时,可以不使用操作系统,但在设计较复杂的程序时,可能就需要一个操作系统(OS)来管理和控制内存、多任务、周边资源等。依据系统所提供的程序界面来编写应用程序,可大大减少应用程序员的负担。

对于使用操作系统的嵌入式系统来说,嵌入式系统软件结构一般包含四个层面:设备驱动层、实时操作系统(Real Time multi-tasking Operation System, RTOS)层、应用程序接口(Application Programming Interface, API)层、实际应用程序层。

由于硬件电路的可裁剪性和嵌入式系统本身的特点,其软件部分也是可裁剪的。对于功能简单,仅包括应用程序的嵌入式系统,一般不使用操作系统,仅有应用程序