

Embedded Microprocessor Systems:Real World Design Third Edition

国外IT精品丛书



嵌入式微处理器系统设计实例

(第三版)

涵盖适用于所有嵌入式芯片的通用设计理念
探索涉及实际问题的有效解决方案
介绍实现嵌入式系统的最新技术手段

〔美〕 Stuart R. Ball P.E. 著

苏建平 李鹏飞 刘 谦 等译



Newnes



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

Embedded Microprocessor Systems:

Real World Design Third Edition

嵌入式微处理器 系统设计实例

(第三版)

〔美〕 Stuart R. Ball P. E. 著

苏建平 李鹏飞 刘 谦 等译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

按照普遍适用的原则,本书介绍了嵌入式微处理器系统的设计理念和设计手段,涵盖内容从系统设计和软硬件设计,到系统集成和软硬件调试,其中还涉及中断处理、实时操作以及工业标准嵌入式平台等。

本书既适合于开始从事嵌入式系统设计和应用的工程师作参考,也适合于大专院校相关专业的师生作教材。



Copyright©Mike Gilmore and Barry Elliott 2002. All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical articles or reviews

本书英文版由Newnes公司出版,Newnes公司已将中文版独家版权授予电子工业出版社及北京美迪亚电子信息有限公司。未经许可,不得以任何形式和手段复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字:01-2004-0746

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式微处理器系统设计实例:第3版/(美)鲍尔(Ball, S.R.)著;苏建平等译.—北京:电子工业出版社,2004.3

书名原文:Embedded Microprocessor Systems: Real World Design Third Edition

ISBN 7-5053-9660-9

I. 嵌… II. ①鲍… ②苏… III. 微处理器—系统设计 IV. TP332

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第008846号

责任编辑:李莹

印刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

北京市海淀区翠微东里甲2号 邮编:100036

经销:各地新华书店

开本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:480千字

印次:2004年3月第1次印刷

定价:38.00

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换,若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:010-68279077。质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

译 者 的 话

我们怀着欣喜的心情完成了《嵌入式微处理器系统设计实例（第三版）》一书的全部译文。可以毫不夸张地说，该书是同类有关嵌入式微处理器系统专著中最有特色的专业入门级读物。该书不仅深入浅出地介绍了嵌入式微处理器系统的基本设计原理，而且还结合实际案例对嵌入式微处理器系统设计中经常遇到的问题进行了分析论述。该书自第一版发行以来受到了读者的好评。到目前为止，该书已经应读者要求发行了第三版。经过补充和更新，第三版涵盖了嵌入式系统从初级概念到系统调试所涉及的全部内容。

作为嵌入式系统设计入门级专业读物，本书介绍了基本设计原理、系统集成调试等嵌入式系统涉及的所有技术领域。与其他只限于介绍某一系列嵌入式微处理器的专著不同，本书论述的嵌入式系统设计原理适用于各种微处理器的嵌入应用。除此之外，本书还针对嵌入式系统设计过程中常见的诸如成本控制与系统调试等难点问题，利用专门章节进行了深入讨论。为了便于读者掌握实际操作技能，本书还集中了若干章节专门用于介绍有关硬件、软件以及中断系统的调试原理和调试技能。

利用在嵌入式系统设计领域多年积累的工作经验，本书作者在书中给出了大量精选的实用嵌入式系统案例、调试技巧，以及数量可观的设计经验。读者通过阅读本书，不仅可以掌握嵌入式系统的设计方法，更重要的是可以知道如何避免其他人在嵌入式系统设计中曾经出现的错误。因此本书更加具有解决具体问题的实用色彩。

本书作者**Stuart Ball**现就职于美国俄克拉荷马州医用电子设备制造公司，作为一位在嵌入式控制系统有15年工作经历的高级电子工程师，**Stuart Ball**此前还曾在**Rockwell**国际公司参与了全球定位系统和安全通信设备的研发工作。除了编写嵌入式系统方面的专著外，**Stuart Ball**还是美国《Byte》杂志和《现代电子周刊》的撰稿人。

本书最大的受益者将是那些刚刚从事嵌入式系统设计和应用的工程师与大学毕业生。借助于本书作者根据亲身经历总结的经验教训，读者可以在自己从事的项目中少走许多弯路。由于本书还就有关嵌入式系统涉及的中断处理、系统集成、时钟同步，以及工业标准嵌入式平台等进行了广泛深入的讨论，因此本书也适用于需了

解嵌入式微处理器系统工作原理的初学者、大专院校软件专业或电子应用专业师生，以及有兴趣从事嵌入式系统设计维护工作的专业技术人员阅读。

本书由苏建平、李鹏飞负责审校和统稿，参与本书翻译工作的其他人员还有王军平、刘丽云、李新、张君哲、钱云、刘城、田红、刘颖等参与了本书的校对和录入。由于本书内容较新，篇幅较多，再加上译者的时间和水平有限，因此在翻译过程中难免有疏漏和错误，敬请读者给予批评指正。

内 容 简 介

请读者设想下面的一幕：早上起来后，坐进驾驶室打开汽车电源。取出一片3寸软盘插入仪表盘上的软盘驱动器中，不一会儿，操作系统提示符就会出现在仪表盘的液晶显示屏上，利用光标选择电子点火图标，转动点火钥匙，马达立即轰鸣起来。如果在去公司的路上想听点儿音乐，需要在播放器上选择到激光唱盘一档，一旦CD驱动器上的绿色指示灯开始闪亮，放入光碟，轻松的音乐才会响起。

到了办公室，如果时间还早，可以去自助餐厅。但如果某个人拿走了对微波炉进行操作的鼠标，而且关掉了微波炉的电源，使你无法引导操作系统，你就无法得到早点。

这些不方便之处就是由于微处理器应用没有使用嵌入式微处理器的必然结果。换句话说，如果不采用嵌入处理器技术的话，每个基于微处理器的应用都将摆脱不了软盘驱动器、某种输入装置以及大型显示设备的束缚。

随着微电子技术的飞速发展，嵌入式微处理器应用无处不在。自从1970年英特尔公司推出最早的8080微处理器以来，各行各业的工程师一直都在致力于微处理器的应用。除了一般应用之外，微处理器甚至还被诸如IBM之类的大公司嵌入到通用计算机中发挥作用。举例来说，如果读者家里有IBM PC/AT之类老式个人电脑的话，该电脑的键盘中就使用了嵌入式微处理器。事实上，每台打印机中至少都配置了一个某种类型的嵌入式微处理器芯片。除此之外，市场上销售的每辆汽车中都配备了多个嵌入式微处理器，分别用来控制汽车的各个关键部分。除了用于工业控制外，使用嵌入式微处理器的自动处理设备还可以帮助家庭主妇煮汤，或者控制微波炉的运行。总的来说，嵌入式微处理器一般具有如下特征：

- 可用于某种实时设备的控制或功能的实现。
- 系统加电后自动启动，无须人工介入。
- 自带操作系统，其操作系统驻留在非易失存储器中。

当然，上述特征并不是对嵌入式微处理器系统的权威定义。但就目前来说，上述定义完全适用于对常见的嵌入式系统的描述。

从结构上来说，嵌入式微处理器系统通常由下列部件组成：

- 一个微处理器芯片
- 随机存储器 (RAM)
- 非易失性存储器：可擦写可程序只读存储器 (EPROM)，只读存储器 (ROM)，闪存 (Flash)，靠电池支持的随机存储器等
- 输入输出设备

如果有些读者曾经浏览过通用计算机教科书的话，就会发现嵌入式微处理器系统与通用计算机之间几乎没有多大区别。它们之间的主要不同表现在系统的具体配置方面。例如，通用计算机一般配置较大容量的随机存储器 (RAM)，相比之下，某些嵌入式系统配置的内存有时只有几百个存储单元。除此之外，家用电脑和商用电脑通常配置了10千兆以上的硬盘和Windows操作系统，以及其他一些外部设备。

与个人电脑不同，嵌入式系统通常将其操作系统和应用软件全部存储在内置只读存储器中。嵌入式系统与通用计算机之间的根本区别是各自适用的范围不同。举例来说，我们可以在个人电脑上首先运行文字处理软件，接着运行财务管理系统，一旦需要对表格数据进行处理的话，还可以立即启动数据表格软件。相比之下，嵌入式系统只能实现诸如保证面包片不被烤糊或者微波炉定时振铃之类比较有限的任务。

与通用计算机相比，嵌入式微处理器系统具有以下优势：

- 成本较低。虽然开发一个嵌入式系统的固件成本比较高，但这仅是一种开发期间的一次性投入。其产品的实际成本是非常低的。而如果使用分离集成电路器件作为诸如微波炉之类产品的控制器，与使用内嵌微处理器的同类产品相比，其产品成本要高得多。
- 灵活。假设某个微波炉制造商得到一个大型廉价超市的订单合同，但该合同同时要求制造商就用户对微波炉的控制方式进行调整。在这种情况下，如果这种微波炉完全是基于硬件的系统，那么就不得不重新进行设计。如果该微波炉是基于微处理器的系统，这种改动便只涉及对应用程序代码进行局部修改。
- 系统可编程。假设我们今天想用一個程序来控制机械臂绘制一个汽车图形，明天又想讓該程序控制同一个机械臂绘制其他图形，则完成这种任务正是嵌入式系统的特长。也就是说，嵌入式微处理器系统可以利用相同硬件实现不同的任务。当然，如果也可以为不同的要求专门设计不同的系统，但其造价将会很高。

- 自适应性强。在某些情况下，应用系统还必须对所在的工作环境或用户的某些特殊需求进行学习及自适应。在这一方面，汽车制造商推出的所谓智能自动驾驶装置就是一个典型案例。这种使用嵌入式微处理器的控制系统可以记忆驾驶者的驾驶习惯，并且可以在驾驶过程中控制汽车的各个部分以经济、安全模式运行。虽然这种控制系统可以通过某种专用硬件来实现，但嵌入式微处理器更适应这种工作环境。

本书的目的是通过全面介绍涉及嵌入式控制系统设计开发的各个步骤，把读者引入一个崭新的微处理器应用领域。除了详细讨论嵌入式系统设计的基本原理和具体步骤外，本书还将把作者在该领域工作20年来积累的经验 and 技巧全部传授给读者。为了便于读者深入理解嵌入式系统设计原理，本书还将通过一个简单的嵌入式系统实例来说明嵌入式系统设计的具体概念和方法。

本书不仅适用于大专院校有关专业的在校学生，而且还是那些刚从大学毕业准备从事嵌入式系统设计的大学生、研究生或者正在考虑进入嵌入式系统领域的专业工程师等多种技术人员的人门读物。为了便于读者复习与嵌入式系统有关的基础知识，本书附录还专门就有关数字逻辑、软件设计方法，以及微处理器常用计数体系等内容进行了总结回顾。

第三版特别说明

自从本书第一版发行以来，嵌入式微控制系统技术已经有了新的发展。过去常用的多数微处理器和相关外部设备都已经过时。显然，嵌入式技术的这种飞速发展不利于本书使用过去的案例对嵌入式系统进行辅助说明。但考虑到有些早期案例对于介绍嵌入式技术概念的效果要好于较新的案例，因此本书给出的部分案例仍然来自于前两版的内容。总的来说，本书提供的所有案例都是已经投入批量生产的产品，并且经历了实际应用环境的考验。

除了使用部分早期嵌入式系统作为案例外，书中所有涉及逻辑电路的内容都沿用了传统教科书推荐的术语和描述方法。举例来说，为了便于读者理解比较复杂的逻辑电路，本书中使用了锁存器、门电路、寄存器等简单易懂的术语来介绍诸如微处理器接口机制之类的复杂逻辑部件的工作原理。就目前集成电路的发展趋势来看，设计人员已经开始普遍采用诸如可编程逻辑电路或专用集成电路之类的超大规模集成电路来实现嵌入式系统的逻辑部件。值得庆幸的是，虽然实现手段发生了改变，但有关嵌入式技术的概念仍然适用。

考虑到新技术对嵌入式系统设计的影响，本书中增加了一些使用新技术实现的嵌入式系统案例。对于曾经阅读过本书第一版和第二版的读者来说，他们将会发现自己熟悉的案例已经被某些使用最新技术的案例所代替。虽然不能保证我们介绍的所有技术与电路部件在读者看到本书之际仍然处于领先状态，但可以毫无疑问地说，正是嵌入式技术的这种飞速变化，才使得我们的生活更加丰富多彩！

目 录

第1章 系统设计	1
需求定义	2
选择处理器	5
开发环境	18
开发成本	21
硬件和软件要求	21
软件与硬件的划分	24
分布式处理器系统	25
技术规范小结	27
功能文档概要	27
交流与通信	29
 第2章 硬件设计 (第1部分)	30
单片系统设计	30
多片系统设计	31
等待状态	37
内部存储器	39
可编程只读存储器 (PROM) 的类型	39
随机存储器 (RAM)	47
输入输出 (I/O)	57
外部接口电路	61
非易失性存储器	75
Microwire总线接口	78
直接存储器访问 (DMA)	80
监视定时器	87
在线编程	89

内部外设	91
系统设计技巧	92
电磁兼容性考虑	93
微处理器时钟	96
本章小结	99
第3章 硬件设计 (第2部分)	101
动态总线调整	101
快速周期终止	102
复位总线调整	102
时钟同步总线	103
内置动态存储器接口	106
组合集成电路	107
数模转换器 (DAC)	108
模数转换器 (ADC)	110
SPI接口或Microwire接口在多处理器方案中的应用	113
定时器基础	115
定时器应用案例	123
硬件规格说明纲要	124
第4章 软件设计	127
流程图	128
状态流程图	129
程序框图	131
伪代码	131
代码划分	133
软件结构体系	138
程序开发语言	140
与软件编程有关的微处理器硬件	146
硬指标与软指标	149
有关独立过程的考虑	150

软件说明	151
软件说明文档纲要	152
 第5章 中断在嵌入式系统中的应用	155
中断概述	155
中断向量	156
边沿触发中断和电平触发中断	158
中断优先级	158
中断硬件	158
中断总线周期	160
菊花链中断机制	161
其他类型的中断机制	162
中断硬件的使用	163
中断软件	168
中断服务机制	169
嵌套中断	170
中断服务程序的数据接收或发送	172
中断应用及存在的问题	173
最小化低优先级中断服务时间	181
使用中断的时机	183
 第6章 增加调试用硬件和软件	187
操作码	188
硬件输出	189
写ROM	191
读ROM	191
软件定时	193
软件吞吐量	193
循环跟踪缓冲区	194
监控程序	196
逻辑分析仪断点	196

存储器转储	197
串行条件监控	198
 第7章 系统集成和调试	205
硬件测试	206
软件调试	207
RAM程序调试	209
功能测试计划	211
强度测试	213
故障日志	214
实用案例介绍	215
仿真器与调试器	218
 第8章 多处理器系统	220
处理器之间的通信	222
双端口随机存储器	230
 第9章 实时操作系统	253
多任务管理	257
任务跟踪	261
任务间通信	262
内存管理	264
资源管理	266
RTOS与中断	266
典型RTOS通信	267
优先级考虑	268
RTOS的适用范围	270
调试程序	273
 第10章 工业标准嵌入式平台	275
使用个人电脑平台的优势	275

个人电脑平台的不足	278
ISA总线和基于PCI总线的嵌入式主板	281
基于个人电脑的实时系统案例	289
第11章 高级微处理器概念	291
流水线（预取）队列	291
交叉存取技术	292
动态随机存取存储器（DRAM）突发访问模式	293
同步动态随机存取存储器（SDRAM）	295
高速高集成度处理器和多总线	297
高速缓冲存储器	298
多时钟输入锁相循环处理器	299
多指令存取和译码	301
微控制器与可编程门阵列	301
片内调试	302
内部存储器管理硬件	305
专用微控制器	308
附录A 案例系统技术文档	309
附录B 计数系统	325
附录C 数字逻辑原理简介	340
附录D 微处理器基本概念	350
附录E 嵌入式系统Web站点介绍	371
词汇表	373

第1章 系统设计

经验告诉我们，没有明确的目标，成功将无从谈起。做任何事的第一步都必须首先确立明确的目标。

与日常生活中的大多数事务一样，设计一个嵌入式微处理器系统的过程也必须从确定目标开始，也就是对即将生产的产品进行明确定义。对产品进行定义主要是对产品是什么和能有什么功能进行描述。一般来说，产品定义文档是所有嵌入式系统设计获得成功的第一要素，用以给出未来系统的轮廓和构造方法。除此之外，该文档不仅可以向销售人员描述即将上市产品的功能和特点，而且还可以为开发人员提供系统的实现方法。考虑到本书内容与嵌入式系统有关，因此，本书将介绍有关嵌入式系统的文档建立方法。下面是笔者认为有助于设计嵌入式系统的一些开发文档：

- **产品需求文档：**描述产品的特性
- **功能需求文档：**描述产品必须具备的功能
- **工程说明文档：**描述系统实现的方法和满足需求的手段
- **硬件说明文档：**对有关硬件进行描述
- **微程序固件说明文档：**描述在特定处理器下设计微程序固件的方法
- **测试说明文档：**描述必须测试的项目和验证系统正常运行的方法

图1.1给出了上述文档与系统总体设计之间的关系。总的来说，嵌入式系统设计需遵守如下过程：

产品需求定义
功能需求定义
处理器选择
硬件及软件说明
系统评估
硬件设计
微程序固件设计
系统集成

测试（功能验证）

上述过程不一定必须按顺序实现。举例来说，如果系统软件和硬件分别由不同的开发人员来实现，那么系统硬件和微程序固件的设计就可以同时进行。系统实现过程也并非总是按时间向下逐步进行的，例如，在系统评估阶段，一旦发现所选择的处理器存在某种问题，设计人员就必须回到前面的步骤重新选择处理器。除此之外，系统的实际过程有时也会与上述过程有所不同。例如，产品性能定义和功能描述可以合并到产品说明文档或其他客户要求文档中一次实现。

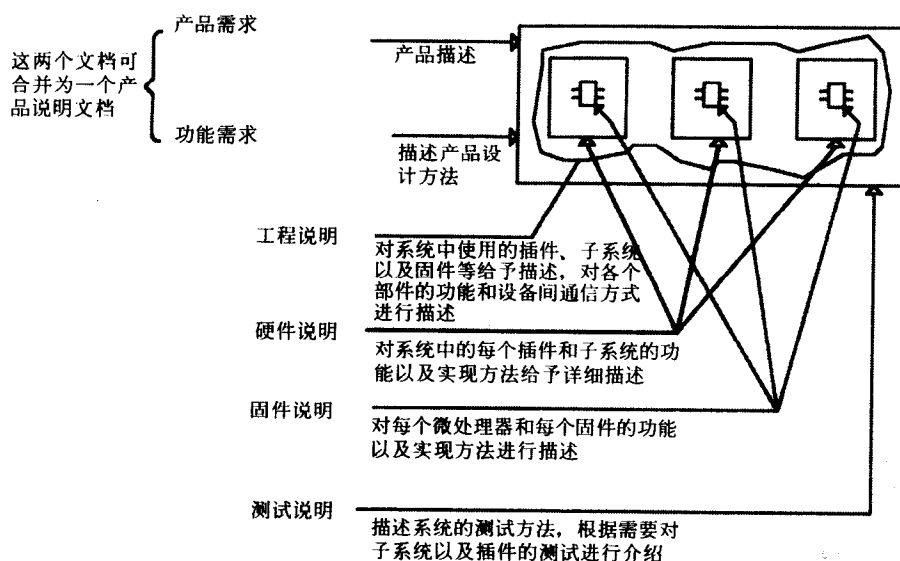


图1.1 设计文档示意图

在一般情况下，多数公司要求在系统设计初期阶段就必须提供上述产品说明文档。由于不同公司或不同客户对这类文档的要求各不相同，以商业用户与国防部门为例，这二者之间的需求差异是相当大的；因此本书对上述文档的编制方法将不予详细说明。系统设计和文档编制过程是从产品说明的底层，也就是从需求定义开始的。

需求定义

需求定义（实际也可能是产品说明的一部分）用来描述产品的基本功能。对于大公司来说，需求可由该公司的市场销售部门或该公司的主要客户来定义；而对于

小公司而言,公司的硬件和软件工程师可以负责草拟需求定义的基本内容。如果项目只有一位技术人员参与的话,则上述文档的内容也可能来自于该技术人员的想像。

就需求定义文档的形式来说,这种文档可以是一本包括定义每个交互操作、每个接口、系统使用的每个错误消息在内的正规说明书,也可以是只带有说明最终产品功能的一页清单。不管形式如何、数量多少,需求定义中必须对下述内容进行描述:

- 系统的用途
- 实际输入输出是由何种方式实现的
- 系统使用何种操作界面(如果有的话)

对小型嵌入式控制系统来说,定义系统需求是非常关键的,这是因为完善的需求定义可以避免后续开发过程中出现诸如随机存储器(RAM)容量不足或所选微处理器速度不能满足处理的需要等一系列问题。下面给出的是一个用于实现游泳池水泵定时控制系统的需求定义案例(本书附录A中给出了该案例的完整系统需求定义和说明)。

系统描述:用于游泳池交流水泵马达循环启动的定时器。

电源输入:使用来自于变压器的9V~12V直流电。

水泵功率为0.5马力(1马力=735W),使用单相交流电机,由机械继电器进行控制。

如果游泳池处于低水位,则输入开关闭合信号,以禁止水泵继续运行。

用户可以自由设置水泵运行或关闭的时间长度。需要提供一种人工装置来允许维护人员关闭水泵进行维修,或者当水泵处于关闭状态时启动马达,以便工作人员向游泳池内添加清洁剂。

马达开启/关闭/人工干预的时间可以30分钟为单位,在半小时到23个小时的范围内进行调节。

显示设备可以指示水泵的开关状态、剩余时间,以及水泵是否处于人工干预模式。除此之外,该设备还应显示低水位监视程序的工作条件。

尽可能减少开关和调节按钮的次数。

除了类似于上述文档中给出的功能要求外,对商用系统来说,其设计文档中还要包括电磁干扰(EMI)和电磁兼容性(EMC)认证、安全认证(包括国际电工委员会EMC和保险商实验所UL)以及使用环境(包括环境温度、湿度、盐雾腐蚀等)等方面的需求。