

高等院校嵌入式人才培养规划教材

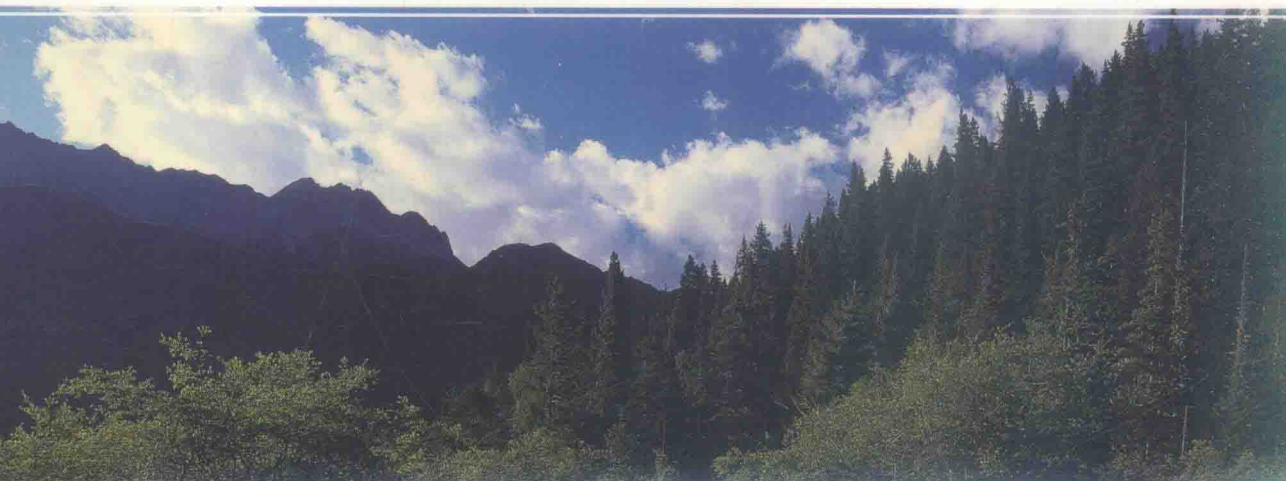
Gaodeng Yuanxiao Qianrushishi Rencai Peiyang Guihua Jiaocai

arm University Program

Arm大学计划推荐用书

嵌入式系统与 移动设备开发基础

郭宏 胡威 主编



Embedded System and Basis of Mobile Device Development

体系完整，覆盖嵌入式系统与移动设备开发
由浅入深，循序渐进，符合读者认知规律



中国工信出版集团

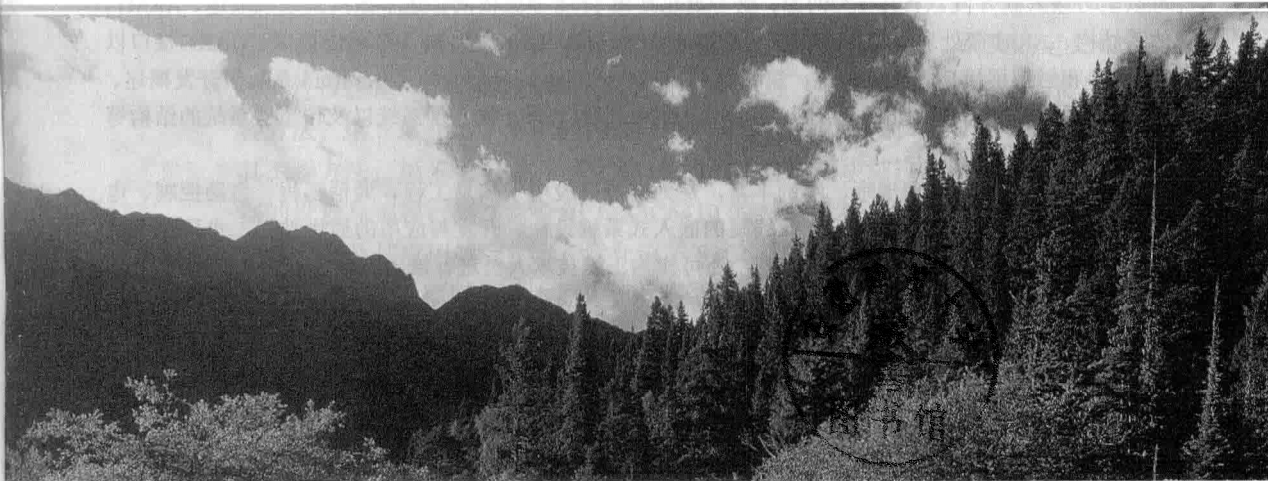


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等院校嵌入式人才培养规划教材 | arm University Program
Gaodeng Yuanxiao Qianru... m大学计划推荐用书

嵌入式系统与 移动设备开发基础

郭宏 胡威 主编



Embedded System and Basis of
Mobile Device Development

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

嵌入式系统与移动设备开发基础 / 郭宏, 胡威主编

— 北京: 人民邮电出版社, 2018.9

高等院校嵌入式人才培养规划教材

ISBN 978-7-115-48281-5

I. ①嵌… II. ①郭… ②胡… III. ①微型计算机—系统设计—高等学校—教材②移动终端—应用程序—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP360.21②TN929.53

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第076023号

内 容 提 要

本书借鉴了很多国内优秀培训机构的教学思路,力求使读者在没有相关背景知识的前提下,也可以学习嵌入式开发。全书分为两篇,第一篇包括第1~8章,依次讲述了嵌入式系统概述、ARM11体系结构、ARM微处理器的指令系统、S3C6410处理器、GPIO接口、IIC总线接口、UART接口以及ADC和触摸屏接口等相关内容;第二篇包括第9~14章,分别介绍了Android系统级开发概述、Android系统开发环境、Boot Loader、Android驱动开发、input输入子系统以及传感器系统的结构等移动设备开发相关的内容。

本书通俗易懂、条理清晰、实例丰富,是为高等院校电子信息工程、通信工程、自动控制、电气自动化、计算机科学与技术等专业编写的嵌入式系统设计、开发与应用的通用教材,也可作为全国大学生电子设计竞赛培训教材,同时,还可作为工程技术人员进行嵌入式系统开发的参考书。

◆ 主 编 郭 宏 胡 威

责任编辑 邹文波

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 17.5

2018年9月第1版

字数: 454千字

2018年9月河北第1次印刷

定价: 49.80元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

本书主要以 ARM11 微处理器的 S3C6410 为基础,重点介绍了嵌入式系统的基础知识和嵌入式系统的体系结构、中断处理、寄存器、输入/输出接口、总线接口的电路设计与编程;突出基于 Android 嵌入式系统开发的编程方法,图形用户接口 (GUI) 工具的使用以及传感器系统驱动开发。本书的特点是内容丰富实用,叙述详尽清晰,方便教师教学与学生自学,与嵌入式系统实验教学结合,有利于学生掌握嵌入式系统的设计方法,培养学生综合分析、开发创新和工程设计的能力。

全书分为两篇,共 14 章。第一篇包含第 1~8 章内容,介绍嵌入式系统的基本组成原理与应用。其中第 1 章介绍了嵌入式系统的定义和组成、嵌入式微处理器体系结构和类型;第 2 章介绍了 ARM 微处理器结构、流水线结构、寄存器结构、异常处理、存储器结构;第 3 章介绍了 ARM 指令系统的寻址方式、指令格式、常用指令和伪指令;第 4 章介绍了 S3C6410 微处理器的内部结构、引脚的定义和分类、相应外设接口、存储器控制器、时钟和电源管理、中断控制等以及相关寄存器和编程方法;第 5 章介绍了 S3C6410 的 GPIO 结构、GPIO 端口的分类、相关寄存器及其编程方法;第 6 章介绍了 S3C6410 的 IIC 总线模块结构、操作模式、相关寄存器的设置与编程;第 7 章介绍了 S3C6410 的 UART 接口特性、工作模式、相关寄存器操作及其应用编程;第 8 章介绍了 S3C6410 的 A/D 转换器工作原理、ADC 与触摸屏接口、触摸屏的基本原理、电路结构与编程方法;第二篇包含第 9~14 章内容,介绍移动设备开发的基本原理,其中,第 9 章介绍了 Android 系统的发展、Android 系统的四层架构、Android 系统内核及其特点、系统移植和驱动开发的方法;第 10 章介绍了交叉开发环境、Linux 操作系统及其交叉开发工具链与 Android 系统开发工具链;第 11 章介绍了 Boot Loader 的基本思想、Boot Loader 的工作过程与基于 U-Boot 的案例分析;第 12 章介绍了 Android 系统的内核与驱动架构、Android 系统移植的主要内容、Android 系统的硬件抽象层;第 13 章介绍了 Android 输入子系统及其移植方法;第 14 章介绍了 Android 传感器子系统及其移植方法。每章都附有思考题。

本书提供多媒体课件,读者可以登录人邮教育社区 (www.ryjiaoyu.com) 免费下载。

本书由郭宏拟订编写了大纲和目录,编写工作由郭宏和胡威共同完成,具体分工如下:郭宏编写第 1~8 章内容;胡威编写第 9~14 章内容;最后由郭宏统稿及定稿。同时,武汉科技大学计算机科学与技术学院的吕向宇、蔡熙隆等同学,广东欧珀移动通信有限公司高级驱动工程师江若成为本书的编写做了大量的工作,在此一并表示衷心的感谢。同时还要感谢国家级计算机实验教学示范中心 (武汉科技大学)、教育部产学研合作协同育人项目 (201702014004) 对本书出版的支持。

本书在编写过程中，参考了大量的国内外著作和资料，得到了许多专家和学者的大力支持，听取了多方面的宝贵意见和建议，在此对他们致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免存在不足之处，敬请各位读者批评斧正。

郭宏 于武汉大学

2017年9月18日

目 录

第一篇 嵌入式系统

第 1 章 嵌入式系统概述.....1

1.1 嵌入式系统的基本概念.....1	
1.1.1 嵌入式系统的定义.....1	
1.1.2 嵌入式系统的发展.....2	
1.1.3 嵌入式系统的特点.....4	
1.2 嵌入式系统的分类.....5	
1.2.1 单个微处理器.....6	
1.2.2 嵌入式处理器可扩展的系统.....6	
1.2.3 复杂的嵌入式系统.....6	
1.2.4 在制造或过程控制中使用的 计算机系统.....6	
1.3 嵌入式处理器.....6	
1.3.1 嵌入式微处理器.....7	
1.3.2 嵌入式微控制器.....7	
1.3.3 嵌入式 DSP 处理器.....8	
1.3.4 嵌入式片上系统.....8	
1.4 嵌入式系统的组成.....9	
1.4.1 嵌入式系统的硬件.....10	
1.4.2 嵌入式系统的软件.....11	
1.4.3 嵌入式系统的开发工具和开发 系统.....12	
1.5 嵌入式操作系统.....13	
1.5.1 嵌入式操作系统的发展.....13	
1.5.2 嵌入式操作系统的分类.....13	
1.5.3 嵌入式操作系统的特点.....13	
1.5.4 主流嵌入式操作系统简介.....14	
本章小结.....16	
思考题.....16	

第 2 章 ARM11 体系结构.....17

2.1 ARM 微处理器概述.....17	
2.1.1 ARM 公司简介.....17	

2.1.2 ARM 微处理器的特点.....18	
2.1.3 ARM 体系结构的版本.....18	
2.2 ARM11 系列微处理器.....20	
2.2.1 目标应用.....20	
2.2.2 ARM11 处理器特点.....20	
2.2.3 ARM11 处理器性能.....20	
2.2.4 ARM11 处理器规格.....21	
2.3 ARM11 系列微处理器架构.....21	
2.4 ARM11 流水线.....23	
2.4.1 流水线结构的性能.....23	
2.4.2 流水线级数的影响.....24	
2.4.3 ARM11 处理器中流水线管理.....24	
2.5 ARM 工作模式及寄存器组.....25	
2.5.1 ARM 核工作模式.....25	
2.5.2 ARM 寄存器分组.....27	
2.5.3 工作模式分析.....28	
2.6 各种模式工作机制.....29	
2.6.1 CPSR、PC、SPSR_xxx 和 LR_xxx 寄存器工作关系.....29	
2.6.2 R13_xxx 寄存器用途（SP_xxx 堆栈指针）.....30	
2.6.3 FIQ 和 IRQ 特权模式（异常或 中断模式）.....30	
2.6.4 Supervisor 特权模式（异常）.....30	
2.6.5 Abort 特权模式（异常）.....30	
2.6.6 Undefined 特权（异常）模式.....30	
2.6.7 Secure Monitor 特权（异常） 模式.....30	
2.6.8 System 特权模式.....30	
2.6.9 ARM 中各个异常处理响应 优先级.....31	
2.7 进入和退出异常中断的过程.....31	
2.7.1 ARM 处理器对异常中断的响应 过程.....31	
2.7.2 从异常中断处理程序中返回.....33	

本章小结	34	4.4.4 AD/DA 接口	65
思考题	34	4.4.5 移动存储设备接口	66
第3章 ARM 微处理器的指令系统	35	4.4.6 系统管理器接口	66
3.1 ARM 微处理器的指令集概述	35	4.4.7 电源组接口	68
3.1.1 ARM 微处理器的指令的分类与格式	35	4.5 存储器映射	68
3.1.2 指令的条件域	36	4.5.1 存储器系统模块图	68
3.2 ARM 指令的寻址方式	37	4.5.2 特殊设备地址空间	69
3.2.1 立即寻址	37	4.6 系统控制器	70
3.2.2 寄存器寻址	37	4.6.1 系统控制器的特性	70
3.2.3 寄存器间接寻址	37	4.6.2 功能描述	70
3.2.4 基址变址寻址	38	4.7 S3C6410 复位信号	75
3.2.5 多寄存器寻址	38	4.7.1 硬件复位	75
3.2.6 相对寻址	38	4.7.2 温复位	76
3.2.7 堆栈寻址	39	4.7.3 软件复位	76
3.3 ARM 指令集	39	4.7.4 看门狗复位	77
3.3.1 跳转指令	39	4.8 寄存器描述	77
3.3.2 数据处理指令	40	4.8.1 部分 SFR 寄存器	77
3.3.3 乘法指令与乘加指令	44	4.8.2 PLL 控制寄存器	78
3.3.4 程序状态寄存器访问指令	46	4.8.3 时钟源控制寄存器	80
3.3.5 加载/存储指令	47	4.9 VIC 中断控制器	81
3.3.6 批量数据加载/存储指令	49	4.9.1 S3C6410 中断源	82
3.3.7 数据交换指令	49	4.9.2 VIC 寄存器	84
3.3.8 移位指令（操作）	50	4.9.3 中断处理过程	91
3.3.9 协处理器指令	51	本章小结	96
3.3.10 异常产生指令	53	思考题	96
3.4 Thumb 指令及应用	53	第5章 GPIO 接口	97
本章小结	54	5.1 GPIO 接口概述	97
思考题	54	5.2 GPIO 结构	97
第4章 S3C6410 处理器	55	5.3 GPIO 端口	98
4.1 S3C6410 处理器概述	55	5.4 GPIO 寄存器	99
4.2 S3C6410 体系结构	56	5.4.1 端口 A 控制寄存器	99
4.3 S3C6410 引脚定义	57	5.4.2 端口 B 控制寄存器	101
4.4 S3C6410 引脚信号描述	61	5.4.3 端口 C 控制寄存器	102
4.4.1 外部存储器接口	61	5.4.4 端口 D 控制寄存器	104
4.4.2 串行通信接口	63	5.4.5 端口 E 控制寄存器	105
4.4.3 图像/视频接口	65	5.4.6 端口 F 控制寄存器	107
		5.4.7 端口 G 控制寄存器	108
		5.4.8 端口 H 控制寄存器	110
		5.4.9 端口 I 控制寄存器	112

5.4.10 端口 J 控制寄存器	114	6.4.4 IIC_SlaveWrP 函数	140
5.4.11 端口 K 控制寄存器	115	本章小结	141
5.4.12 端口 L 控制寄存器	117	思考题	141
5.4.13 端口 M 控制寄存器	119	第 7 章 UART 接口	143
5.4.14 端口 N 控制寄存器	120	7.1 UART 接口概述	143
5.4.15 端口 O 控制寄存器	122	7.2 UART 接口特性	143
5.4.16 端口 P 控制寄存器	124	7.3 UART 的操作	144
5.4.17 端口 Q 控制寄存器	125	7.3.1 数据发送	144
5.5 GPIO 应用举例	127	7.3.2 数据接收	144
5.5.1 电路连接	127	7.3.3 自动流量控制 (AFC)	145
5.5.2 寄存器设置	127	7.3.4 接收 FIFO 的操作	145
5.5.3 程序的编写	127	7.3.5 发送 FIFO 的操作	145
本章小结	128	7.3.6 RS-232C 接口	145
思考题	129	7.3.7 中断/DMA 请求的产生	146
第 6 章 IIC 总线接口	130	7.3.8 UART 错误状态 FIFO	146
6.1 IIC 总线接口概述	130	7.3.9 红外线 (IR) 模式	147
6.2 IIC 总线接口操作模式	131	7.4 外部接口	148
6.2.1 开始和停止条件	131	7.5 寄存器描述	149
6.2.2 数据传输格式	132	7.5.1 UART 行控制寄存器	151
6.2.3 ACK 信号传输	132	7.5.2 UART 控制寄存器	151
6.2.4 读写操作	132	7.5.3 UART 的 FIFO 控制寄存器	153
6.2.5 异常中断条件	133	7.5.4 UART Modem 控制寄存器	154
6.2.6 IIC 总线配置	133	7.5.5 UART 接收 (Rx) / (Tx) 发送 状态寄存器	154
6.2.7 每个模块的操作流程图	133	7.5.6 UART 错误状态寄存器	155
6.3 IIC 总线接口特殊寄存器	135	7.5.7 UART 的 FIFO 状态寄存器	156
6.3.1 多主控器 IIC 总线控制 (IICCON) 寄存器	135	7.5.8 UART Modem 状态寄存器	156
6.3.2 多主控器 IIC 总线控制/ 状态 (IICSTAT) 寄存器	136	7.5.9 UART 发送缓冲寄存器 (保存 寄存器和 FIFO 寄存器)	157
6.3.3 多主控器 IIC 总线地址 (IICADD) 寄存器	137	7.5.10 UART 接收缓冲寄存器 (保存 寄存器和 FIFO 寄存器)	157
6.3.4 多主控器 IIC 总线发送/接收数据 移位 (IICDS) 寄存器	137	7.5.11 UART 波特率分频寄存器	158
6.3.5 多主控器 IIC 总线控制 寄存器	137	7.5.12 波特率错误容限	159
6.4 IIC 总线编程举例	138	7.5.13 UART 中断处理寄存器	159
6.4.1 IIC_MasterWrP 函数	138	7.5.14 UART 中断源处理寄存器	160
6.4.2 IIC_MasterRdP 函数	139	7.5.15 UART 中断屏蔽寄存器	160
6.4.3 IIC_SlaveRdP 函数	139	7.6 UART 接口应用举例	161
		本章小结	165
		思考题	165

第8章 ADC 和触摸屏接口.....166

8.1 ADC 及触摸屏概述.....166

8.2 ADC 及触摸屏的特性.....166

8.3 ADC 及触摸屏接口操作.....167

8.4 ADC 功能描述.....167

8.4.1 A/D 转换时间.....167

8.4.2 触摸屏接口方式.....168

8.4.3 待机模式.....168

8.4.4 编程记录.....168

8.5 ADC 及触摸屏寄存器.....169

8.5.1 ADC 的控制寄存器 (ADCCON).....169

8.5.2 ADC 的触摸屏控制寄存器
(ADCTSC).....1708.5.3 ADC 开始延迟寄存器
(ADCDLY).....1708.5.4 ADC 的数据转换寄存器
(ADCDAT0).....1718.5.5 ADC 的数据转换寄存器
(ADCDAT1).....1728.5.6 ADC 的触摸屏 UP-DOWN 寄存器
(ADCUPDN).....172

8.5.7 ADC 触摸屏中断清除寄存器.....173

8.6 ADC 应用举例.....173

8.6.1 硬件设计.....173

8.6.2 软件设计.....173

本章小结.....175

思考题.....175

第二篇 移动设备开发基础

第9章 Android 系统级开发概述.....176

9.1 Android 系统的发展.....176

9.2 Android 系统架构.....178

9.2.1 应用程序层.....179

9.2.2 应用程序框架层.....180

9.2.3 系统运行库层.....180

9.2.4 Linux 内核层.....181

9.3 Android 系统内核.....182

9.3.1 Linux 内核结构.....182

9.3.2 Android 内核和驱动.....183

9.4 系统移植的概念和驱动开发的方法.....184

本章小结.....185

思考题.....186

第10章 Android 系统开发环境.....187

10.1 交叉开发环境.....187

10.1.1 交叉开发环境概述.....187

10.1.2 宿主机与目标机的连接.....188

10.1.3 宿主机环境.....189

10.1.4 目标机环境.....190

10.2 Linux 操作系统及其开发工具.....191

10.2.1 Linux 操作系统概述.....191

10.2.2 Linux 操作系统核心与
驱动程序.....192

10.2.3 Linux 交叉编译工具链.....194

10.3 Android 系统开发工具.....196

10.3.1 Android 代码目录结构.....196

10.3.2 Ubuntu 与虚拟机.....197

10.3.3 Android 系统级开发工具链.....198

本章小结.....201

思考题.....201

第11章 Boot Loader.....202

11.1 Boot Loader 概述.....202

11.1.1 Boot Loader 主要功能.....202

11.1.2 Boot Loader 操作模式.....203

11.1.3 Boot Loader 的通信.....204

11.2 Boot Loader 工作过程.....204

11.2.1 Boot Loader 工作过程概述.....204

11.2.2 Boot Loader 阶段1.....205

11.2.3 Boot Loader 阶段2.....207

11.3 U-Boot 启动流程分析.....208

11.3.1 U-Boot 概述.....208

11.3.2 U-Boot 代码结构.....209

11.3.3 U-Boot 启动流程分析.....209

11.3.4 Boot Loader 的修改.....213

本章小结.....215

思考题.....215

第 12 章 Android 驱动开发.....	216	13.3.2 文件 KeycodeLabels.h.....	231
12.1 Android 驱动开发概述.....	216	13.3.3 文件 KeyCharacterMap.h.....	236
12.1.1 Android 驱动概述.....	216	13.3.4 k1 格式文件.....	240
12.1.2 Android 系统移植.....	217	13.3.5 kcm 格式文件.....	240
12.2 Android 硬件抽象层.....	218	13.3.6 文件 EventHub.cpp.....	242
12.2.1 Android 硬件抽象层概述.....	218	13.4 模拟器的实现.....	243
12.2.2 HAL Legacy 和 HAL.....	219	本章小结.....	244
12.2.3 支持 HAL 的驱动程序.....	220	思考题.....	244
本章小结.....	221	第 14 章 传感器系统.....	246
思考题.....	222	14.1 传感器系统的结构.....	246
第 13 章 input 输入子系统.....	223	14.1.1 传感器系统 Java 层.....	248
13.1 用户输入系统介绍.....	223	14.1.2 传感器系统 Frameworks 层.....	253
13.1.1 Android 输入系统的结构.....	224	14.2 传感器驱动开发.....	254
13.1.2 移植工作.....	224	14.2.1 移植驱动程序.....	254
13.2 Linux input 子系统.....	225	14.2.2 移植硬件抽象层.....	254
13.2.1 设备驱动层的注册.....	225	14.2.3 实现上层部分.....	257
13.2.2 handler 的注册过程.....	227	14.3 传感器驱动的硬件抽象层实例.....	263
13.3 input 驱动程序开发.....	228	本章小结.....	267
13.3.1 文件 input.h.....	228	思考题.....	268

第一篇 嵌入式系统

第 1 章

嵌入式系统概述

本章介绍嵌入式系统的一些基本知识。通过对本章的学习，读者会对嵌入式系统开发与设计的基础有所了解，并能对嵌入式系统开发的理论基础具有初步的了解。

本章主要包括：

- 嵌入式系统的基本概念和发展；
- 嵌入式处理器的分类以及选择；
- 嵌入式操作系统的基本概念。

1.1 嵌入式系统的基本概念

1.1.1 嵌入式系统的定义

什么是嵌入式系统？随着嵌入式系统在人们实际生活中的应用越来越广泛，这个基本问题的确切定义引发了许多争论。

嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义，人们很少会意识到他们往往随身携带了好几个嵌入式系统——手机或者智能卡等，而且人们在与汽车、电梯、厨房设备、电视、机顶盒以及娱乐设备的嵌入式系统交互时也往往对此毫无觉察。正是“看不见”这一特性将嵌入式计算机与通用计算机区分开来。嵌入式系统通常用在一些特定的专用设备上，一般情况下这些设备的硬件资源（如处理器、存储器等）非常有限，并且对成本很敏感，有时对实时响应要求很高。嵌入式系统早期主要应用于军事、航空、航天等领域，后来逐步应用到工业控制、仪器仪表、汽车、电子、通信和家用消费类等领域。目前，随着消费家电的智能化，嵌入式系统显得越来越重要。

嵌入式系统往往作为一个大型系统的组成部分被嵌入到其中（这也是其名称的由来），嵌套关系可能相当复杂，也可能非常简单，其表现形式多种多样。目前存在多种嵌入式系统的定义，有的是根据嵌入式系统的应用定义的，有的是根据嵌入式系统的组成定义的，还有的是根据其他方面进行定义的。下面给出 3 种比较常见的定义。

（1）IEEE（国际电气和电子工程师协会）的定义：嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”（原文为 Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment,

machinery or plants)。可以看出此定义是从应用上考虑的,嵌入式系统是软件和硬件的综合体,还包含机电等附属装置。由此可以得出以下结论:嵌入式系统通常执行特定功能,其核心是嵌入式微处理器,有严格的时序和稳定性要求,并且可以全自动循环操作。

(2) 按照历史性、本质性、普遍性要求,嵌入式系统应定义为“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。“嵌入性”“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的 3 个基本要素;对象体系则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

(3) 嵌入式系统指的是以应用为中心和以计算机技术为基础的,并且软硬件是可裁剪的,能满足应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等指标严格要求的专用计算机系统。简单地说,嵌入式系统集成系统的应用软件与硬件于一体,具有软件代码小、高度自动化、响应速度快等特点,特别适合那些要求实时和多任务的体系结构,可以实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

根据嵌入式系统的定义,可从以下几方面来理解嵌入式系统。

(1) 嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,它必须与具体应用相结合才会具有生命力,才更具有优势。嵌入式系统与应用紧密结合,具有很强的专用性,必须结合实际的系统需求进行合理的裁剪和利用。

(2) 嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术、电子技术以及各个行业的具体应用相结合后的产物,因此它必然是一个技术和资金高度密集,应用领域高度分散,而又不断进行创新的知识集成系统。

(3) 嵌入式系统必须根据应用需求对软硬件进行裁剪,以满足应用系统的功能、可靠性、成本、体积等要求。建立相对通用的软硬件基础,然后在其基础上开发出适应各种需要的系统,是一种比较好的发展模式。目前嵌入式系统的核心往往是一个只有几 KB 到几十 KB 内存的微内核,需要根据实际应用进行功能扩展或者裁剪。而由于微内核的存在,使得这种扩展或裁剪能够非常顺利地进行。

一方面,随着芯片技术的发展,单个芯片具有更强的处理能力,集成多种接口已经成为可能,众多芯片生产厂商已经将注意力集中在这方面;另一方面,由于实际应用的需要,以及当前对产品可靠性、成本、更新换代要求的提高,使得嵌入式系统逐渐从纯硬件实现和使用通用计算机实现的应用中脱颖而出,成为近年来受人关注的焦点。嵌入式系统采用“量体裁衣”的方式把所需的功能嵌入到各种应用系统中,融合了计算机软硬件技术、通信技术和半导体微电子技术,是信息技术(Information Technology, IT)的最终产品。

1.1.2 嵌入式系统的发展

嵌入式系统从出现至今已有 40 多年的历史,其发展轨迹呈现出硬件和软件交替发展的双螺旋式。早在电子数字计算机出现之前就有了把计算装置嵌入在系统和设备中的嵌入式系统,如把计算机嵌入到导弹等武器和航天器中。但是,直到 20 世纪 70 年代末(集成电路化的第三代计算机时期),随着微电子技术的发展,嵌入式计算机才逐步兴起。近年来,随着计算机、通信、消费电子的一体化趋势日益明显,嵌入式技术已成为一个研究热点。

1. 嵌入式应用始于微型机时代

电子数字计算机诞生于 1946 年,在其后漫长的历史进程中,计算机始终是供养在特殊的机房中,用于实现数据计算的大型昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代微处理器的出现,才使计算机发生了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性等特点,迅速走出机房进入各行各业中。具备高速数据计算能力的微型机表现出的智能化水平引起了控制专业人士

的关注,他们将微型机嵌入到一个对象体系中,实现对对象体系的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路后,安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用的计算机功能。为了区别于原有的通用计算机系统,我们把嵌入到对象体系中、能实现对对象体系智能化控制的计算机称为嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代,其嵌入性本质是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去,这就是理解嵌入式系统的基本出发点。

2. 现代计算机技术的两大分支

由于嵌入式系统要嵌入到对象体系中,实现对对象的智能化控制,因此它有着与通用计算机系统完全不同的技术要求与技术发展方向。

通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数据计算,技术发展方向是总线速度的无限提升、存储容量的无限扩大;而嵌入式系统的技术要求则是对对象的智能化控制能力,技术发展方向是与对象体系密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

早期,人们将通用计算机系统进行改装,在大型设备中实现嵌入式应用。然而,仍存在众多的对象体系(如家用电器、仪器仪表、工控单元……)无法嵌入通用计算机系统,况且嵌入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同,因此必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式系统,这就形成了现代计算机技术发展的两大分支。

如果说微型机的出现使计算机进入到现代计算机发展阶段,那么嵌入式系统的诞生,则标志着计算机进入了通用计算机系统与嵌入式系统两大分支并行发展时代,从而极大地推动了20世纪末计算机技术的高速发展。

3. 两大分支发展的里程碑事件

通用计算机系统与嵌入式系统的专业化分工发展,导致20世纪末、21世纪初计算机技术的飞速发展。计算机专业领域集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术,不必兼顾嵌入式应用要求,通用微处理器迅速从286、386、486发展到奔腾系列,乃至当前的酷睿双核、四核等;操作系统则迅速扩张了计算机高速、海量的数据处理能力,使通用计算机系统进入到一个相对成熟的阶段。

嵌入式系统则走上了一条完全不同的道路,这条独立发展的道路就是单芯片化。它动员了原有的传统电子系统领域的厂家与专业人士,接过起源于计算机领域的嵌入式系统,承担起发展与普及嵌入式系统的历史任务,迅速地将传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统。

现代计算机技术发展的两大分支的里程碑意义在于:它不仅形成了计算机发展的专业化分工,而且将发展计算机技术的任务扩展到传统的电子系统领域,使计算机成为进入人类社会全面智能化时代的有力工具。

纵观嵌入式技术的发展历程,大致经历了4个阶段。

(1) 以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统,具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。这类系统大部分应用于一些专业性强的工业控制系统中,一般没有操作系统的支持,通过汇编语言编程对系统进行直接控制,运行结束后再清除内存。这些装置虽然已经初步具备了嵌入式的应用特点,但仅仅只是使用8位的CPU芯片来执行一些单线程的程序,因此严格地说还谈不上“系统”的概念。这一阶段系统的主要特点是:系统结构和功能相对单一,处理效率较低,存储容量较小,几乎没有用户接口。由于这种嵌入式系统使用简单、价格低,以前在国内工业领域应用较为普遍,但是已经远远不能适应高效的、需要大容量存储的现代工业控制和新兴信息家电等领域的需求。

(2) 以嵌入式CPU为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。20世纪80年代,随着微

电子工艺水平的提高, IC (集成电路) 制造商开始把嵌入式应用中所需要的微处理器、I/O 接口、串行接口以及 RAM、ROM 等部件通通集成到一片 VLSI (超大规模集成电路) 中, 制造出面向 I/O 设计的微控制器, 并一举成为嵌入式系统领域中异军突起的新秀。与此同时, 嵌入式系统的程序员也开始基于一些简单的“操作系统”开发嵌入式应用软件, 大大缩短了开发周期, 提高了开发效率。这一阶段嵌入式系统的主要特点是: 出现了大量高可靠、低功耗的嵌入式 CPU (如 Power PC 等), 但通用性比较弱; 各种简单的嵌入式操作系统开始出现并得到迅速发展, 并初步具有了一定的兼容性和扩展性, 系统开销小, 内核精巧且效率高, 主要用来控制系统负载以及监控应用程序的运行; 应用软件较专业化, 但用户界面不够友好。

(3) 以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。20 世纪 90 年代, 在分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下, 嵌入式系统飞速发展, 而面向实时信号处理算法的 DSP (数字信号处理) 产品则向着高速度、高精度、低功耗的方向发展。随着硬件实时性要求的提高, 嵌入式系统的软件规模也不断扩大, 逐渐形成了实时多任务操作系统 (RTOS), 并开始成为嵌入式系统的主流。这一阶段嵌入式系统的主要特点是: 嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上, 兼容性好; 操作系统内核小、效率高, 并且具有高度的模块化和扩展性; 具备文件和目录管理、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能; 具有大量的应用程序接口 API, 开发应用程序较简单; 嵌入式应用软件丰富。

(4) 以 Internet 为标志的嵌入式系统。这是一个正在迅速发展的阶段。目前大多数嵌入式系统还孤立于 Internet 之外, 信息时代和数字时代的到来为嵌入式系统的发展带来了巨大的机遇。随着 Internet 的发展以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术结合日益密切, 嵌入式设备与 Internet 的结合将代表嵌入式系统的未来。

综上所述, 嵌入式系统技术日益完善, 32 位微处理器在该系统中占主导地位, 嵌入式操作系统已经从简单走向成熟, 与网络、Internet 的结合日益密切, 应用也日益广泛。

1.1.3 嵌入式系统的特点

嵌入式系统是应用于特定环境下, 针对特定用途来设计的系统, 其硬件和软件都必须被高效率的设计。与通用计算机系统相比, 嵌入式系统具有以下特点。

1. 嵌入式系统通常是面向特定应用的

嵌入式系统处理器与通用计算机处理器的最大不同就是嵌入式系统处理器大多工作在为特定用户群设计的系统中, 专用于某个或少数几个特定的任务。嵌入式系统处理器通常都具有低功耗、体积小、集成度高等特点, 能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部, 从而有利于嵌入式系统的小型化, 能大大增强移动能力, 与网络的耦合也更加紧密。

2. 嵌入式系统功耗低、体积小、集成度高、成本低

通用计算机有足够大的内部空间, 具有良好的通风能力, 系统中的处理器也均配置了庞大的散热片和冷却风扇进行系统散热; 而许多嵌入式系统却没有如此充足的电能供应, 尤其是便携式嵌入设备, 即使有足够的电源供应, 散热设备的增加也很不方便。由于空间和各种资源相对不足, 因此在设计嵌入式系统时应尽可能地降低功耗。整个嵌入式系统设计有严格的功耗预算, 其硬件和软件也必须围绕这种特性来进行高效率的设计, 量体裁衣、去除冗余, 最大限度地降低应用成本, 力争在同样的硅片面积上实现更高的性能。

3. 嵌入式系统具有较长的生命周期

嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起, 其升级换代也是和具体的产品同步进行, 因此嵌

入式系统产品一旦进入市场，便具有较长的生命周期。

4. 嵌入式系统具有固化的代码

为了提高执行速度和系统可靠性，嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机本身中，而不是存储于磁盘等载体中，系统上电后程序开始执行直至系统关闭，程序是不能被改变的，除非开发人员采用特定的方法才能对程序进行改进并重新写入系统。所以，可以说嵌入式系统的应用软件生命周期也和嵌入式产品一样长。另外，各个行业的应用系统、产品和通用计算机软件不同，很少发生突然性跳跃，嵌入式系统中的软件也因此更强调可继承性和技术衔接性，发展比较稳定。

5. 嵌入式系统开发需要专用开发工具和环境

通用计算机具有完善的人机接口界面，在其中增加一些开发应用程序和环境即可进行对自身的开发；而嵌入式系统本身并不具备自主开发能力，即使设计完成以后用户通常也不能对其中的程序功能进行修改，必须配备一套开发工具和环境（基于通用计算机的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等）才能进行开发。开发时往往有主机和目标机的概念，主机用于程序的开发，目标机作为最后的执行机，开发时需要交替结合进行。

6. 嵌入式系统软件需要 RTOS 开发平台

通用计算机具有完善的操作系统和应用程序接口（API），是计算机基本组成中不可分割的一部分，应用程序的开发以及完成后的软件都在操作系统（OS）平台上运行，但一般不是实时的。嵌入式系统则不同，其应用程序可以没有操作系统而直接在芯片上运行；但是为了合理地调度多任务，利用系统资源、系统函数以及专用库函数接口，嵌入式系统一般使用实时操作系统 RTOS（Real-Time Operating System），使系统具有实时约束。用户必须自行选配 RTOS 开发平台，这样才能保证程序执行的实时性、可靠性，并减少开发时间，保障软件质量。

7. 嵌入式系统开发人员以应用专家为主

通用计算机的开发人员一般是计算机科学或计算机工程方面的专业人士，而嵌入式系统则是要和各个不同行业的应用相结合的，要求更多的计算机以外的专业知识，其开发人员往往是各个应用领域的专家，因此开发工具的基本要求是易学、易用、可靠、高效。

8. 嵌入式系统是知识集成系统

从某种意义上说，通用计算机行业的技术是垄断的。占整个计算机行业 90% 的 PC 产业，80% 采用 Intel 公司的 X86 体系结构，芯片基本上出自 Intel、AMD 和 Cyrix 等几家公司。在几乎每台计算机必备的操作系统和办公软件方面，Microsoft 公司的 Windows 和 Office 约占 80%~90%。因此，当代的通用计算机行业已被认为是由 Wintel（Microsoft 和 Intel 公司 20 世纪 90 年代初建立的联盟）垄断的行业。

嵌入式系统则不同，没有哪一个系列的处理器和操作系统能够垄断全部市场，即便在体系结构上存在主次之分，但各不相同的应用领域决定了不可能有少数公司、少数产品垄断全部市场。因此，嵌入式系统领域的产品和技术必然是高度分散的，留给各行业的中、小规模高新技术公司的创新余地很大。另外，各个应用领域是在不断向前发展的，这就要求其中的嵌入式处理器/DSP 核心也同步发展。尽管高新科技的发展起伏不定，但嵌入式行业却一直保持持续强劲的发展态势，在复杂性、实用性和高效性等方面都达到了前所未有的高度。

1.2 嵌入式系统的分类

根据不同的分类标准，嵌入式系统有不同的分类方法，这里按嵌入式系统的复杂程度将其分

为以下 4 类。

1.2.1 单个微处理器

这类嵌入式系统一般由单片嵌入式处理器组成,嵌入式处理器上集成了存储器 I/O 设备、接口设备(如 A/D 转换器)等,再加上简单的元件,如电源、时钟元件等就可以工作。这类系统通常用于小型设备中(如温度传感器、烟雾和气体探测器及断路器),由供应商根据设备的用途来设计。

常用的嵌入式处理器有 Philips 的 89LPCxxx 系列、Motorola 的 MC68HC05、08 系列等。

1.2.2 嵌入式处理器可扩展的系统

这类嵌入式系统使用的处理器根据需要可以扩展存储器,同时也可以使用片上的存储器,处理器一般容量在 64KB 左右,字长为 8 位或 16 位。在处理器上扩充少量的存储器和外部接口,便构成了嵌入式系统,这类嵌入式系统通常用于过程控制、信号放大器、位置传感器及阀门传动器等。

1.2.3 复杂的嵌入式系统

复杂嵌入式系统的嵌入式处理器一般是 16 位、32 位等,用于大规模的应用。由于软件量大,因此需要扩展存储器。扩展存储器一般在 1MB 以上,外部设备接口一般仍然集成在处理器上。常用的嵌入式处理器有 ARM 系列, Motorola 公司的 PowerPC 系列、Coldfire 系列等。

在开关装置、控制器、电话交换机、电梯、数据采集系统、医药监视系统、诊断及实时控制系统等方面都可看到这类嵌入式系统的应用。它们是一个大系统的局部组件,由传感器负责收集数据并传递给系统。这种组件可同计算机一起操作,并可包括某种数据库(如事件数据库)。

1.2.4 在制造或过程控制中使用的计算机系统

对于这类系统,计算机与仪器、机械及设备相连来控制这些装置。这类系统包括自动仓储系统和自动发货系统。在这些系统中,计算机用于总体控制和监视,而不是对单个设备直接控制。过程控制系统可与业务系统连接(如根据销售额和库存量来决定订单或产量),在许多情况下两个功能独立的子系统可在一个主系统下一同运行,如控制系统和安全系统:控制子系统控制处理过程,使系统中的不同设备能正确地操作并相互作用于生产产品;而安全子系统则用来降低那些会影响人身安全或危害环境的错误操作的风险。

1.3 嵌入式处理器

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心。

目前据不完全统计,全世界嵌入式处理器的品种已经超过 1000 多种,流行的体系结构有三十多个系列,其中,8051 体系的占了多半。生产 8051 单片机的半导体厂家有二十多家,包括 350 多种衍生产品,仅 Philips 公司就有近百种。现在几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器,越来越多的公司开始拥有自己的处理器设计部门。嵌入式处理器的寻址空间一般为 64KB~16MB,处理速度 0.1~2000MIPS,常用封装 8~144 个引脚。根据其现状,嵌入式处理器可以分成嵌入式微处理器(EMPU)、嵌入式微控制器(EMCU)、嵌入式 DSP 处理器(EDSP)和嵌入式片上系统

(ESoC) 4类, 如图 1-1 所示。

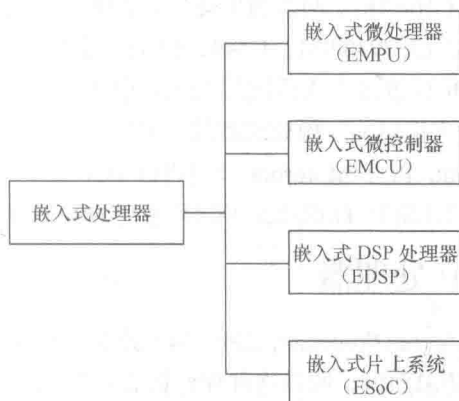


图 1-1 嵌入式处理器分类

1.3.1 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器 (Embedded Microprocessor Unit, EMPU) 的基础是通用计算机中的 CPU, 即由通用计算机中的 CPU 演变而来。与通用计算机处理器不同的是, 在实际的嵌入式应用中, 是将微处理器装配在专门设计的电路板上的, 只保留和嵌入式应用紧密相关的母板功能, 去除了其他冗余的功能部分, 这样可以大幅度减小系统体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求, 嵌入式微处理器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、可靠性等方面都做了各种增强。

和工业控制计算机相比, 嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高等优点, 但是在电路板上必须包括 ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件, 从而降低了系统的可靠性, 技术保密性也较差。嵌入式微处理器及其存储器、总线、外设等安装在一块电路板上, 称为单板计算机, 如 STD-BUS、PC104 等。近年来, 德国、日本的一些公司又开发出了类似火柴盒式、名片大小的嵌入式计算机系列 OEM 产品。

嵌入式微处理器目前主要有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM 系列等。

1.3.2 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller Unit, EMCU) 又称单片机, 顾名思义, 就是将整个计算机系统集成到一块芯片中, 这也是目前嵌入式系统工业的主流。嵌入式微控制器一般以某一种微处理器内核为核心, 芯片上资源比较丰富 (芯片内部集成有 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能和外设), 便于进行控制, 因此称为微控制器。为适应不同的应用需求, 一般一个系列的单片机具有多种衍生产品, 每种衍生产品的处理器内核都是一样的, 不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以使单片机最大限度地与应用需求相匹配, 减少冗余功能, 从而降低功耗和成本。

和嵌入式微处理器相比, 嵌入式微控制器的最大特点是单片化, 体积大大减小, 从而使功耗和成本下降, 可靠性提高。