

21

高等学校信息工程类专业“十三五”规划教材

嵌入式图像处理系统工程案例精选 —— DaVinci系统设计与实现

孙伟 郭宝龙 编著

XIANDAI TONGXIN JISHU
YU WANGGUO YINGYONG



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校信息工程类专业“十三五”规划教材

嵌入式图像处理系统工程案例精选 ——DaVinci系统设计与实现

孙 伟 郭宝龙 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书从工程应用角度出发,精选了作者多年积累的嵌入式图像处理系统工程案例,从需求分析、硬件设计、算法原理及软件实现等多个方面深入论述了不同图像工程案例的技术难点及实现方法,内容涵盖图像增强、视频编码与传输、目标识别与跟踪等,系统硬件平台为德州仪器的达芬奇(DaVinci)平台。

本书共8章,分为两个部分:第一部分(第1、2章)为原理介绍,主要包括DSP技术原理、DaVinci技术原理与应用;第二部分(第3~8章)为工程案例,主要包括基于TMS320DM6446的视频去雾系统的实现、基于TMS320DM6446的远程图像视频系统的实现、基于TMS320DM368的高清视频编解码系统的实现、基于TMS320DM6467T的视频编码与传输系统的实现以及GStreamer技术在达芬奇平台上的应用、航拍视频中目标的检测与跟踪系统的实现等内容。

本书所述原理与案例并重,内容翔实,可作为高等学校计算机科学与技术、电子工程等相关专业的本科生和研究生教材,也可作为相关领域的大学教师、科研人员和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式图像处理系统工程案例精选: DaVinci 系统设计与实现/孙伟, 郭宝龙编著.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2017.4

高等学校信息工程类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4473-8

I. ① 嵌… II. ① 孙… ② 郭 III. ① 图像处理软件 IV. ① TP391.413

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 065658 号

策 划 马乐惠

责任编辑 王 瑛 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2017年4月第1版 2017年4月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 19

字 数 450千字

印 数 1~3000册

定 价 35.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4473 - 8/TP

XDUP 4765001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书所述内容属于图像信息处理领域的热门课题，书中重点讲解典型的图像工程案例及嵌入式硬件平台的视频处理问题。在数字图像处理领域，现有教材主要讲解基本理论与分项技术的研究，但工程应用是一个较为完整的技术体系，如算法原理、器件选型、硬件设计、软件优化及环境性能等，在工程应用中缺一不可。现今，我国对于数字视频处理的需求日益增长，特别是对嵌入式硬件平台的图像处理技术及设备需求旺盛。技术是灵魂，硬件是载体，高性能嵌入式系统和先进图像处理技术的结合，必将促使图像处理技术进一步发展，并满足工业和信息化系统的应用要求，因此其发展潜力巨大。

针对图像处理系统的工程问题，我们前期已经出版了《数字图像处理系统工程导论》(郭宝龙、孙伟主编，西安电子科技大学出版社出版，2012年)一书，该书对工程应用的实际问题进行了导向性讲述。而图像处理问题具有多学科交叉融合的特征，面对更多和更实际的工程问题，目前的教材的基本理论及导论性的讲述已经无法满足课程创新及工程实践的要求。例如，目前的图像增强、视频编码与传输、运动目标检测与跟踪、运动视频序列的稳定等，大都以独立文献或技术报告的形式出现，而视频领域所涉及的图像处理问题纷繁复杂，现场应用对系统的稳定性、实时性及功耗都提出了严格的要求。本书从工程应用角度出发，精选作者多年积累的嵌入式图像处理系统工程案例，从需求分析、硬件设计、算法原理及软件实现等多个方面，深入论述各案例的技术难点及实现方法。所选案例具有代表性，非常适合作为教学的典型工程案例使用，可使课程的教学更具实用价值，从而在理论和工程应用之间搭建一座桥梁。目前的嵌入式系统教材多从芯片的硬件结构和系统软件的开发方法的角度进行介绍，而本书将从更顶层的角度出发，以系统的观点介绍系统的设计方法，特别是基于目前主流的 DaVinci 技术视频平台，因此更具指导意义和参考价值。

孙伟副教授编写第 1~5 章，郭宝龙教授编写第 6~8 章。中煤科工集团西安研究院有限公司陈龙博士参与了第 7、8 章的部分编写工作；博世 (Bosch) 力士乐(西安)电子传动与控制有限公司刘林参与编写了第 5、6 章，并对本书的硬件设计部分进行了

审定；孙荡实现并编写了第4~6章的软件部分；陈许蒙、赵春宇、潘蓉、王鹏、刘立新等同学对本书进行了文字校对，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外大量的论文和书籍，在此对书中所引用论文和书籍的作者深表感谢。同时，本书的编写得到了国家自然科学基金(61671356, 61201290)以及教育部-德州仪器公司产学合作协同育人项目教学内容和课程体系改革的资助，在此一并感谢！

限于作者水平，书中难免有不足之处，敬请广大读者指正。

作 者

2016年11月

目 录

第 1 章 DSP 技术原理	1
1.1 嵌入式系统原理	1
1.1.1 嵌入式系统的定义及特性	1
1.1.2 嵌入式操作系统及嵌入式系统软件层结构	4
1.1.3 嵌入式系统硬件层结构	6
1.2 单片机	7
1.2.1 单片机的特点	8
1.2.2 常见的单片机	8
1.3 ARM 微处理器	11
1.3.1 ARM 微处理器技术	11
1.3.2 ARM 微处理器的优点	12
1.3.3 ARM 嵌入式系统开发	13
1.4 FPGA 集成电路	14
1.4.1 FPGA 器件原理及分类	14
1.4.2 FPGA 的主要厂商及应用领域	15
1.5 DSP 技术	17
1.6 DSP 编程优化方法	22
1.6.1 应用层优化	22
1.6.2 代码层优化	24
1.6.3 汇编代码级优化	25
1.7 定点 DSP 和浮点 DSP	25
1.7.1 定点数和浮点数	26
1.7.2 程序变量的 Q 值确定	30
1.7.3 浮点至定点变换的 C 程序举例	31
1.7.4 定点 DSP 指令集	32
1.8 DaVinci 技术概述及在图像处理中的优势	33
1.8.1 C64x 系列 DSP	33
1.8.2 图像处理中 DSP 芯片的选择	34
本章小结	35
习题	35
第 2 章 DaVinci 技术原理与应用	37
2.1 嵌入式图像处理系统组成原理	37
2.2 DaVinci 技术原理	39
2.2.1 xDAIS 标准原理	45

2.2.2	xDM 媒体接口原理.....	46
2.3	DaVinci 系统软件开发.....	48
2.3.1	Codec Engine 与 Codec Server 技术.....	48
2.3.2	信号处理层(DSP 端)软件开发实例.....	51
2.4	DaVinci 开发环境与工具.....	56
2.4.1	Linux 操作系统.....	56
2.4.2	DaVinci 开发环境与工具.....	56
2.5	DaVinci 的主要芯片.....	60
2.6	嵌入式系统文件系统比较.....	68
	本章小结.....	72
	习题.....	72
第 3 章	基于 TMS320DM6446 的视频去雾系统的实现	73
3.1	数字图像去雾技术.....	73
3.1.1	数字图像去雾算法分类.....	73
3.1.2	直方图均衡化去雾算法.....	75
3.1.3	暗影通道先验去雾算法.....	79
3.1.4	Fast Visibility Restoration 单幅图像去雾算法.....	85
3.2	TMS320DM6446 图像去雾系统构建.....	87
3.2.1	系统架构及工作原理.....	88
3.2.2	软件开发平台搭建.....	90
3.3	图像去雾算法实现.....	91
3.3.1	DSP 算法实现(一).....	91
3.3.2	DSP 算法实现(二).....	97
3.4	DSP 代码优化方法.....	99
3.5	实验结果.....	103
	本章小结.....	104
	习题.....	105
第 4 章	基于 TMS320DM6446 的远程图像视频系统的实现	106
4.1	输电线路图像在线监测系统.....	106
4.1.1	JPEG 图像压缩算法原理.....	107
4.1.2	JPEG 图像压缩的实现.....	109
4.1.3	系统的工作流程及实现.....	110
4.2	输电线路视频在线监测系统.....	114
4.2.1	H.264 视频压缩算法原理.....	115
4.2.2	SIP 协议原理及应用.....	118
4.2.3	RTP 协议原理及开发.....	120
4.2.4	系统的实现及性能分析.....	122

4.3 基于 MTP 的图像获取及 3G 传输系统.....	130
4.3.1 MTP 图像获取方法.....	130
4.3.2 Linux 下 3G 传输的实现.....	131
4.3.3 透明传输原理及实现.....	135
本章小结.....	138
习题.....	138
第 5 章 基于 TMS320DM368 的高清视频编解码系统的实现.....	139
5.1 网络视频实时解码.....	139
5.1.1 TMS320DM368 网络视频实时解码输出硬件方案.....	139
5.1.2 网络视频实时解码软件实现.....	142
5.2 高清视频压缩系统设计.....	145
5.2.1 高清编码系统硬件设计.....	148
5.2.2 编码传输系统工作原理及程序设计.....	151
5.2.3 高清视频数据流分析及实验.....	156
5.3 基于 TMS320DM368 的多通道视频采集及编码技术.....	159
5.3.1 MCVIP 视频驱动软件架构.....	159
5.3.2 4 通道视频采集原理.....	164
5.3.3 多通道视频压缩技术.....	172
5.3.4 多通道视频数据的解码回放.....	177
本章小结.....	182
习题.....	182
第 6 章 基于 TMS320DM6467T 的视频编解码与传输系统的实现.....	184
6.1 系统硬件结构分析.....	184
6.1.1 硬件系统架构.....	184
6.1.2 TMS320DM6467T 系统硬件实物.....	191
6.2 视频系统的软件设计与实现.....	192
6.2.1 软件系统整体框架设计.....	192
6.2.2 内核空间驱动设计与移植.....	194
6.2.3 用户空间应用程序的设计.....	205
6.3 设计与实验结果.....	211
本章小结.....	212
习题.....	213
第 7 章 GStreamer 技术在达芬奇平台上的应用.....	214
7.1 GStreamer 技术原理.....	214
7.1.1 多媒体框架及 GStreamer 原理.....	214
7.1.2 GStreamer 基础概念及实例.....	217

7.1.3 GStreamer 插件编程基础.....	221
7.2 GStreamer H.264 编码在达芬奇平台上的应用.....	223
7.2.1 流媒体视频服务器设计原理.....	224
7.2.2 系统分模块实现原理.....	226
7.2.3 系统服务器端插件中的主要函数.....	231
7.3 智能视频监控平台系统软件设计.....	241
7.3.1 GStreamer 流媒体服务器设计.....	241
7.3.2 DSP 算法设计与封装.....	248
7.3.3 Web 服务器模块设计.....	251
7.3.4 SQLite 原理与开发.....	253
7.3.5 系统集成与实验结果.....	256
本章小结.....	257
习题.....	258
第 8 章 航拍视频中目标的检测与跟踪系统的实现.....	259
8.1 图像局部不变特征提取原理及分类.....	259
8.1.1 局部特征检测方法.....	259
8.1.2 局部特征描述分类.....	261
8.2 基于 SURF 的特征匹配技术.....	261
8.2.1 相似性度量准则.....	262
8.2.2 搜索空间与搜索策略.....	264
8.2.3 去除误匹配及定位目标.....	266
8.3 航拍视频中目标的检测与跟踪系统.....	267
8.3.1 运动小目标检测.....	268
8.3.2 实验结果及分析.....	274
8.4 历史目标检测系统的实现.....	276
8.4.1 硬件平台的设计.....	276
8.4.2 软件开发环境的搭建.....	278
8.4.3 目标检测算法的实现.....	280
本章小结.....	291
习题.....	291
参考文献.....	292

第1章

DSP 技术原理

本章首先介绍嵌入式系统的定义、结构及原理，并讨论典型的单片机、FPGA 芯片原理及系统构建方法，然后系统地介绍 DSP 处理器的原理、优化方法，最后介绍典型的基于 DaVinci 平台的数字图像处理系统的软件平台构建方法。

1.1 嵌入式系统原理

从 20 世纪 70 年代单片机的出现到现在各式各样的嵌入式微处理器、微控制器的广泛应用，嵌入式系统已经有了 40 多年的发展历史。单片机的出现，使得汽车、家电、工业机器、通信装置以及成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更佳的使用性能。这些装置已经初步具备了嵌入式的应用特点，但是这时的应用只是使用 8 位的芯片，执行一些单线程的程序，还谈不上“系统”的概念。90 年代以后，随着对实时性要求的提高，软件规模不断上升，实时核逐渐发展为实时操作系统(RTOS)，并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统的主流。

1.1.1 嵌入式系统的定义及特性

1. 嵌入式系统的定义

根据 IEEE(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。由此可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机械等附属装置。目前国内一个普遍被认同的定义是：嵌入式系统是以应用为中心、以计算机技术为基础，软硬件可裁剪的，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。典型的嵌入式系统在智能家居中的应用如图 1-1 所示。

典型的嵌入式系统由嵌入式处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统(可选)以及应用软件等部分组成，其结构如图 1-2 所示。其中，嵌入式处理器及其外围硬件设备属于嵌入式系统硬件层，嵌入式操作系统和应用软件属于嵌入式系统软件层。

实际应用中，嵌入式系统硬件配置非常精简，除了微处理器和基本的外围电路以外，其余的电路都可根据需要和成本进行裁剪、定制，非常经济、可靠。嵌入式系统的硬件核心是嵌入式微处理器，有时为了提高系统的信息处理能力，常外接 DSP 和 DSP 协处理器(也可内部集成)。随着计算机技术、微电子技术及纳米芯片加工工艺技术的不断发展，以微处理器为核心的集成多种功能的 SoC 系统芯片已成为嵌入式系统的核心。在嵌入式系统设计

中，要尽可能地选择满足系统功能接口的 SoC 芯片。这些 SoC 集成了大量的外围 USB、UART、以太网、ADC/DAC、IIS 等功能模块。可编程片上系统(System on a Programmable Chip, SOPC)结合了 SoC 和 PLD、FPGA 各自的技术优点，使得系统具有可编程的功能，是可编程逻辑器件在嵌入式应用中的完美体现，极大地提高了系统的在线升级、换代能力。以 SoC/SOPC 为核心，用最少的外围部件和连接部件构成一个应用系统，满足系统的功能需求，这也是嵌入式系统发展的一个方向。因此，现代嵌入式设计是以处理器/SoC/SOPC 为核心来完成系统设计的，其外围接口包括存储设备、通信扩展设备、扩展设备接口和辅助的机电设备(电源、连接器、传感器等)。

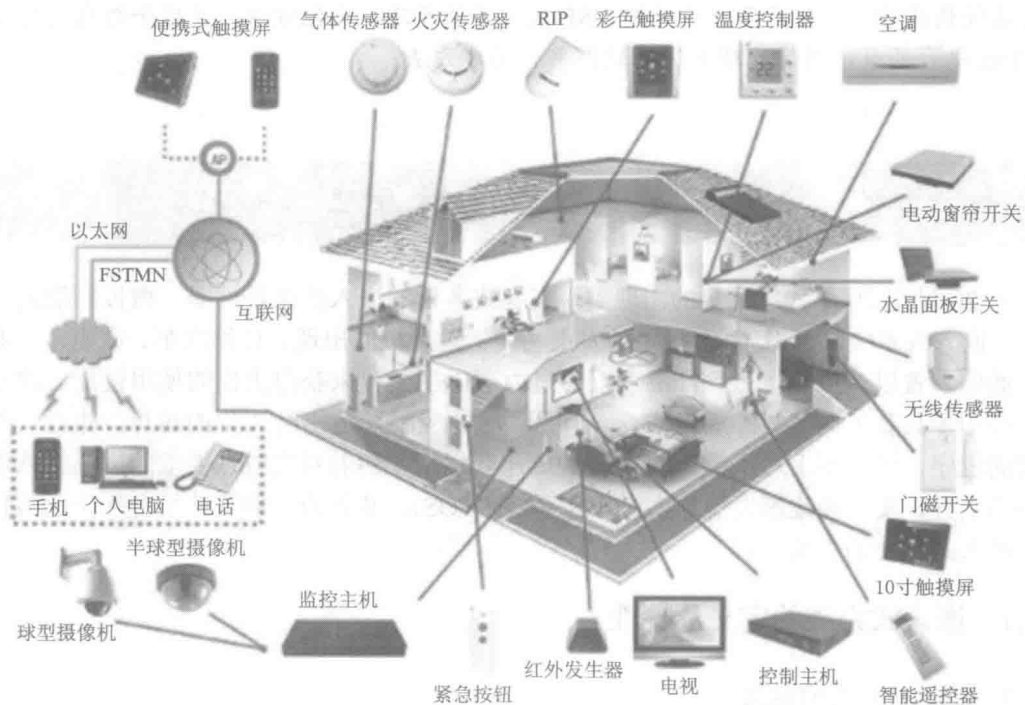


图 1-1 嵌入式系统在智能家居中的应用

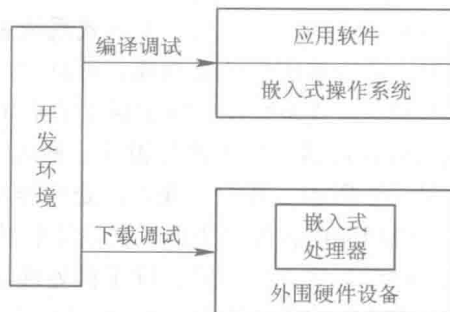


图 1-2 嵌入式系统结构图

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4个层面:设备驱动层、实时操作系统(RTOS)、应用程序接口(API)层、应用程序层。有些书籍将应用程序接口(API)层归属于OS层,如图1-3上半部分所示的嵌入式系统的软件结构,是按3层划分的。由于硬件电路的可裁减性和嵌入式系统本身的特点,其软件部分也是可裁减的。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,仅有应用程序层和设备驱动层。现代高性能嵌入式系统的应用越来越广泛,操作系统的使用成为必然发展趋势。

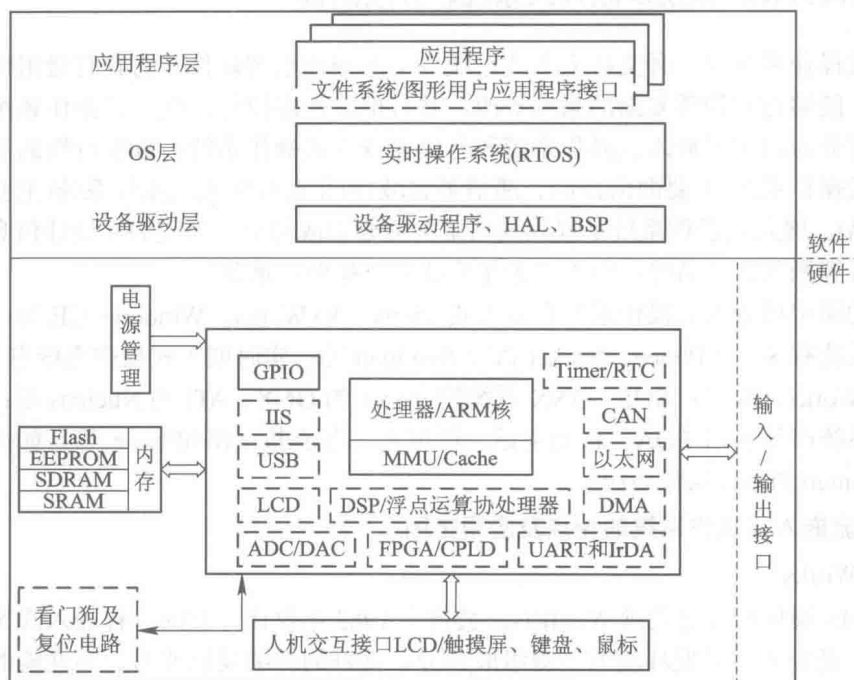


图 1-3 典型的嵌入式系统组成

2. 嵌入式系统的特性

嵌入式系统具有以下基本特点:

(1) 嵌入性。由于嵌入式系统是“嵌入”到对象系统内的,所以需要满足对象系统的环境要求,如物理环境、电气环境等。

(2) 专用性。嵌入式系统针对用户及产品,其软硬件结合紧密,一般若想针对硬件进行软件移植,即使同一厂商的产品,也需根据硬件的不同对系统软件进行修改;若应用目的不同,可能会对系统进行较大范围的改动。嵌入式系统应该在满足应用要求的前提下达到软硬件配置最简。

(3) 计算机系统。嵌入式系统是典型的计算机系统,这一特征是嵌入式系统的本质。

(4) 软件精简且具有高实时性。嵌入式系统对系统软件和应用软件没有明确的划分界限,追求软件实现功能且复杂度最低,这样既控制系统成本又利于实现系统安全。嵌入式系统的相关软件质量和可靠性较高,往往均固化于非易失性存储器中。

(5) 软件开发倾向于利用多任务操作系统。对于简单的应用,无需操作系统,应用程

序能直接运行于嵌入式处理器上；然而，当应用比较复杂、实时性要求较高时，需要选用适当的实时操作系统来合理调度多任务、管理系统硬件资源。由于系统资源的限制，嵌入式操作系统会被相应裁减，比通用操作系统小。

(6) 独有的开发工具和环境。嵌入式系统没有自举开发能力，即使设计完成后用户一般也不能对其中的程序功能进行更改，必须通过独有的开发工具和环境才能进行开发。开发工具和环境一般基于通用计算机的软硬件设备和示波器、逻辑分析仪等。

1.1.2 嵌入式操作系统及嵌入式系统软件层结构

嵌入式操作系统是一种支持嵌入式系统应用的操作系统软件。它具有通用操作系统的基本特点，能够有效管理复杂的系统资源，并且把硬件虚拟化。嵌入式操作系统按应用角度的不同可分为通用型嵌入式操作系统和专用型嵌入式操作系统；按实时性的不同可分为实时嵌入式操作系统(主要面向控制、通信等领域)和非实时嵌入式操作系统(主要面向消费类电子产品)。嵌入式操作系统是嵌入式系统的重要组成部分，当我们在设计信息电器、数字医疗设备等嵌入式产品时，嵌入式操作系统的选择至关重要。

常见的通用型嵌入式操作系统有嵌入式 Linux、VxWorks、Windows CE 等；专用型嵌入式操作系统有 Smart Phone、Pocket PC、Symbian 等；实时嵌入式操作系统有 WindRiver 公司的 VxWorks、ISI 的 pSOS、QNX 系统软件公司的 QNX、ATI 的 Nucleus 等；非实时嵌入式操作系统产品包括 PDA、移动电话、机顶盒、电子书、WebPhone 等，如微软面向手机应用的 Smart Phone 操作系统。

1. 主流嵌入式操作系统的特点及应用范围

1) VxWorks

VxWorks 操作系统是美国 WindRiver 公司于 1983 年设计开发的一种嵌入式实时操作系统(RTOS)，是嵌入式开发环境的关键组成部分。良好的持续发展能力、高性能的内核以及友好的用户开发环境，使 VxWorks 在嵌入式操作系统领域占据一席之地。VxWorks 以其良好的可靠性和卓越的实时性被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高精尖技术及实时性要求极高的领域中，如卫星通信、军事演习、弹道制导、飞机导航等。在美国的 F-16、FA-18 战斗机、B-2 隐形轰炸机和爱国者导弹上，甚至一些火星探测器，如 1997 年 4 月在火星表面登陆的火星探测器上也使用了 VxWorks。

2) Windows CE

Windows CE 是微软公司嵌入式、移动计算平台的基础，它是一个开放的、可升级的 32 位嵌入式操作系统，其图形用户界面相当出色。Windows CE 中的 C 代表袖珍(Compact)、消费(Consumer)、通信能力(Connectivity)和伴侣(Companion)，E 代表电子产品(Electronic)。

Windows CE 是基于 Win32 API 重新开发、新型的信息设备的平台，其所有源代码全部由微软公司自行开发。Windows CE 具有模块化、结构化、基于 Win32 应用程序接口和与处理器无关等特点。

Windows CE 不仅继承了传统的 Windows 图形界面，并且在 Windows CE 平台上可以通过 Visual Basic、Visual C++ 等编程工具，使用同样的函数及同样的界面风格，使绝大多数的应用软件只需简单的修改和移植就可以在 Windows CE 平台上继续使用。Windows CE

并非是专为单一装置设计的，所以微软公司为旗下采用 Windows CE 作业系统的产品大致分了三条产品线：Pocket PC(掌上电脑)、Handheld PC(手持设备)及 Auto PC。

Windows CE 版本主要有 1.0、2.0、3.0、4.0、4.2、5.0、6.0 和 7.0 等。

3) 嵌入式Linux

Linux 是一种自由和开放源代码的类 Unix 操作系统。它起源于芬兰一个名为 Linus Torvalds 的业余爱好者。Linux 从 1991 年问世到现在，已发展成为一个功能强大、设计完善的操作系统。目前正在开发的嵌入式系统中，49% 的项目选择 Linux 作为嵌入式操作系统。

Linux 操作系统开放源码，具有丰富的软件资源和广泛的软件开发者的支持，其价格低廉，结构灵活，适用面广。由于 Linux 源代码公开，有大量免费的优秀开发工具，且都遵从 GPL，所以软件的开发和维护成本很低。稳定——这是 Linux 本身具备的一个很大优点。Linux 系统具有精简的内核，支持多任务，十分适合嵌入式应用。

嵌入式 Linux 和普通 Linux 并无本质区别，PC 上用到的硬件嵌入式 Linux 几乎都支持。Linux 操作系统支持的硬件数量庞大，适用于不同的 CPU；支持多种体系结构，如 x86、ARM、MIPS、ALPHA、SPARC 等；可得到各种硬件的驱动程序源代码；支持大量的周边硬件设备，驱动丰富，为用户编写自己专有硬件的驱动程序带来很大方便。

4) $\mu\text{C}/\text{OS-II}$

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是一个免费的、源代码公开的实时嵌入式内核，它提供了实时系统所需的基本功能，包含全部功能的核心部分代码只有 8.3 KB。由于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是可裁减的，所以用户系统中实际的代码最少可达 2.7 KB。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 不仅使用户得到廉价的解决方案，而且由于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的开放源代码特性，还使用户可针对自己的硬件优化代码，获得更好的性能。

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实际上是一个实时操作系统内核，只包含了任务调度、任务管理、时间管理、内存管理和任务间的通信与同步等基本功能，没有提供输入/输出管理、文件系统及网络之类的额外服务。但是由于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的可移植性和开源性，用户可自己添加所需的各种服务。目前已经出现了专门为 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 开发的文件系统、TCP/IP 协议栈及 GUI 系统等的第三方商家。

2. 嵌入式系统软件层

嵌入式系统软件是实现嵌入式系统的关键。早期的嵌入式系统软件层主要包括嵌入式操作系统和嵌入式应用软件两部分，经过长期发展，目前已演化为三级结构，即在原来嵌入式系统软件构成的基础上添加了硬件抽象层。硬件抽象层亦称板级支持包，是介于硬件层和软件层的中间层。引入硬件抽象层后的嵌入式系统软件层结构如图 1-4 所示。

嵌入式应用软件针对特定应用，一般运行于操作系统上，通过操作系统的接口实现所需的功能。应用需求不同，设计的嵌入式应用程序也不同。

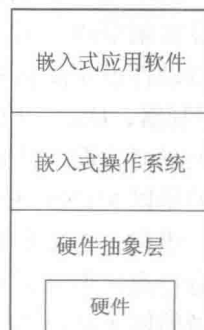


图 1-4 嵌入式系统软件层结构

嵌入式操作系统完成嵌入式应用的任务调度和控制等核心功能，能够有效管理复杂的系统资源并且把硬件虚拟化。嵌入式操作系统具有内核精简、可配置且拥有相对不变性等特点。嵌入式操作系统的由简变繁极大地推动了嵌入式技术的进步。

硬件抽象层通过面向上层的接口与操作系统进行交互，向操作系统提供底层的硬件信息，并按照操作系统的要求完成对硬件的直接操作。硬件抽象层使操作系统通用性更强。对于诸如基于单片机的简单嵌入式系统，由于硬件资源的限制，软件结构上一般不需要嵌入式操作系统，而硬件抽象层与应用软件的区别也不是很明显。

1.1.3 嵌入式系统硬件层结构

除了嵌入式处理器和其相关外围设备之外，嵌入式硬件层还包括电源、时钟、复位、存储等相关电路。图 1-5 给出了嵌入式系统硬件层的一般结构。通常将能使嵌入式处理器运转起来的最基本的硬件系统称为最小系统。从图 1-5 中可以看出，最小系统由嵌入式处理器、电源、时钟、复位和存储等相关电路组成。

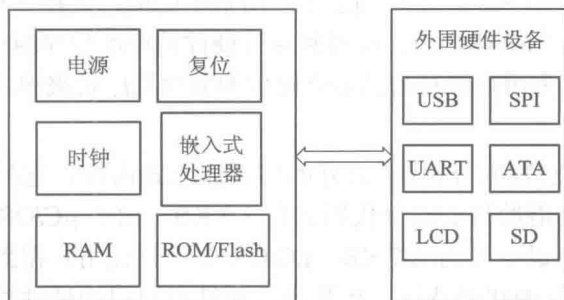


图 1-5 嵌入式系统硬件层的一般结构

嵌入式处理器是整个嵌入式系统最重要的部件，是一个能够以顺序指令指定的方式对数据信息进行操作的电子器件，所有其他部件都以此为中心。嵌入式处理器不仅仅是单纯的 CPU，很多通用外设也集成于其中，这样有利于系统小型化，同时可以提高系统效率和可靠性。嵌入式处理器各式各样，性能、应用各异，发展迅猛。常见的嵌入式处理器有 MCU(微控制器)、ARM、DSP 等。MCU 计算能力差，但其成本低，且集成有相应接口，所以适用于工业控制、家用电器等领域；ARM 处理能力强，复杂度高，其应用已深入到各个领域；DSP 由于其独特的架构，使其拥有超强的运算能力，适合于图像处理、音视频解码等运算密集型的应用。目前，嵌入式处理器已经在向集成度很高的片上系统方向发展。

外围硬件设备简称外设，是与外界进行交互的设备。常见的外设有 A/D 及 D/A 转换器、PWM 控制器、USB、I²C、SPI、音视频、以太网接口等。

在处理器方面，目前大量的中、低端嵌入式应用主要使用 8/16 位单片机。在国内，主要使用的是以 MCS51 核为主的型号不同的单片机，其主要厂商有 Atmel、Philips、Winbond、宏晶等；还有一些近几年发展较快的新型单片机，如 PIC、AVR、MSP430 系列等。这些单片机各有特点，但从目前的发展角度来看，单片机针对特定应用领域的个性化发展愈发明显，典型的例子就是 TI 公司的 MSP430 系列 16 位单片机、ST 公司的 STM8L 系列 8 位单片机和 STM32L 系列 32 位超低功耗单片机。

在高端嵌入式应用领域中，像工业控制、POS 机、网络设备、图像处理、手机、PDA 等，目前主要使用 ARM、MIPS、PowerPC、DSP 等 16~64 位处理器，以 32 位处理器为主。各种类型的处理器都有其一定的应用针对性。例如，DSP 对数字信号处理技术中用到的常用运算、算法做了优化设计，主要用于实时信号处理领域，如实时音视频处理、电机控制等。MIPS 处理器性能很好，但功耗较大，适合于用交流电源供电的固定应用，如固定的网络设备、机顶盒等。ARM 处理器性能高，功耗低，适合于用电池供电的便携、手持式设备。由于近几年便携、手持式嵌入式应用的高速发展，ARM 处理器的增长速度和市场占有率也快速提升，成为目前 32 位处理器中的主力产品。嵌入式系统的硬件实物如图 1-6 所示。

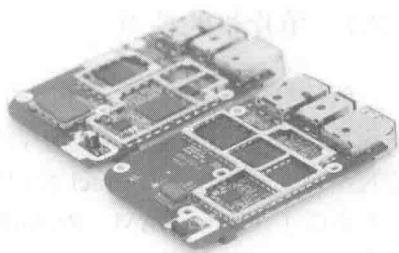


图 1-6 嵌入式系统的硬件实物

系统级芯片(SoC)的基本内部架构如图 1-7 所示。由于嵌入式系统的广泛应用，嵌入式系统的硬件设计涉及的知识面很广，从模拟到数字、从低频到高频、从小信号到大功率，以及复杂的时序逻辑设计和 PCB 设计，还要考虑软硬件资源的合理分配，这不仅要求设计人员要有广而扎实的理论基础，还需要具备丰富的实践经验。只有对大小各种应用系统反复实战演练，了解新技术、新器件，使用过多种多样的处理器和模拟/数字器件，才能逐步积累，聚沙成塔，对一个新的应用系统给出快速、合理的硬件方案与设计。

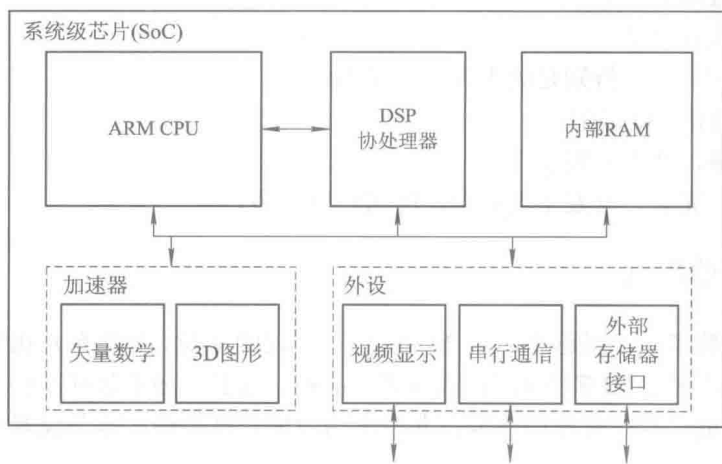


图 1-7 系统级芯片(SoC)的基本内部架构

1.2 单片机

单片微型计算机简称单片机，是典型的嵌入式微控制器(Microcontroller Unit)，常用 MCU 表示。单片机又称单片微控制器，是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、多种 I/O 口和中断系统、定时器/计数器等功能(可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器电路)集成到一块硅片上构成的一个小而完善的微型计算机系统，广泛应用于工业控制

领域。和计算机相比，单片机缺少了外围设备等，它的体积小、质量轻、价格低廉，为学习、应用和开发提供了便利条件。同时，学习使用单片机是了解计算机原理与结构的最佳选择。

1.2.1 单片机的特点

单片机由芯片内仅有 CPU 的专用处理器发展而来。最早的设计理念是通过将大量外围设备和 CPU 集成在一个芯片中，使计算机系统更小、更容易集成进复杂的而对体积要求严格的控制设备当中。如 Intel 公司的 8031、8051，以及后来的 AT89C51 等，就是在一块芯片上集成了 CPU、RAM、ROM(EPROM 或 EEPROM)、时钟、定时器/计数器、多功能串行或并行 I/O 口的通用 IC。除了具有以上基本功能外，有些单片机还集成有 A/D、D/A，如 Intel 公司的 8098 系列等。单片机由 20 世纪 80 年代的 4 位、8 位单片机发展到现在的 300 MHz 的高速单片机，已成为电子系统中进行数据采集、信息处理、通信联络和实施控制的重要器件。其中最成功的是 Intel 公司的 8051，因为简单可靠而性能不错获得了很大的好评。此后发展出了 MCS51 系列单片机系统，基于这一系统的单片机系统，直到现在还在广泛使用。在很多方面，单片机比专用处理器更适合应用于嵌入式系统，因此它得到了广泛的应用。事实上单片机是世界上数量最多的处理器。

总的来说，单片机的特点如下：

- (1) 具备位处理能力。
- (2) 可预测执行周期。
- (3) 擅长中断处理，特别是处理外部异步事件。
- (4) 具有丰富的 I/O 功能。
- (5) 价格低廉，便于开发。
- (6) 开发环境完备，开发工具齐全，应用资料众多。

1.2.2 常见的单片机

单片机种类繁多，发展迅速，从 20 世纪 80 年代的 4 位、8 位单片机到现在的各种高速单片机，其产品多达 70 多个系列，500 多个品种。这其中还不包括那些系统或整机厂商定制的专用单片机，及针对专门业务、专门市场的单片机品种。本节仅对部分常见的和常用的单片机系列进行介绍。

1. AVR 单片机

1997 年，由 Atmel 公司挪威设计中心利用 Atmel 公司的 Flash 技术，研发出精简指令集(RISC)的高速 8 位单片机，简称 AVR。相对于出现较早也较为成熟的 51 系列单片机，AVR 系列单片机片内资源更为丰富，接口也更为强大，同时由于其价格低等优势，在很多场合可以替代 51 系列单片机。

与其他 8 位 MCU 相比，AVR 8 位 MCU 最大的特点是：

- (1) 哈佛结构，具备 1 MIPS/MHz 的高速运行处理能力。
- (2) 超功能精简指令集(RISC)，具有 32 个通用工作寄存器，克服了如 8051 MCU 采用单一 AC 进行处理造成的瓶颈现象。