

北京工业大学研究生创新教育系列著作



嵌入式软件开发技术

何 坚 著



科学出版社

北京工业大学研究生创新教育系列著作

嵌入式软件开发技术

何 坚 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书重点介绍嵌入式软件构架设计、机制设计和详细设计等关键技术, 主要内容包括: 嵌入式操作系统的概念、体系结构及其发展趋势; 嵌入式 Linux 和 Windows CE 操作系统的移植方法与软件开发技术; UML 的基本概念, 嵌入式系统快速面向对象过程模型和相关分析设计技术; MISRA-C: 2004 规则和嵌入式软件测试相关模型与技术。由于嵌入式软件日益复杂, 在分析设计中要通过系统需求模型、动态与静态模型相互补充才能系统、全面地描述系统, 所以书中全面介绍了嵌入式系统快速面向对象过程中的分析设计技术, 力图结合嵌入式软件的特点, 将软件工程领域成熟的分析设计方法引入嵌入式软件的分析设计中。

本书可作为高等院校软件工程相关专业高年级本科生和研究生的教材, 也可供从事嵌入式软件开发和维护的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式软件开发技术/何坚 著. —北京: 科学出版社, 2014.9

(北京工业大学研究生创新教育系列著作)

ISBN 978-7-03-041893-7

I. ①嵌… II. ①何… III. ①软件开发 IV.TP311.52

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第211379号

责任编辑: 王 哲 / 责任校对: 刘玉琦

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏志印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年9月第 一 版 开本: 720 × 1 000 1/16

2014年9月第一次印刷 印张: 17

字数: 342 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

嵌入式系统以微电子和电子学为基础，融入了计算机、通信、软件工程等领域知识，其伴随通信、电子和计算技术的发展，在 21 世纪得到了广泛应用。从消费电器到工业设备，从民用产品到军用器材，嵌入式系统已广泛应用于网络、移动手持设备、国防军事和自动化控制等各个领域。在嵌入式系统快速发展的同时，与之相应的嵌入式软件市场更是飞速发展。据统计，2009 年我国嵌入式软件的市场规模超过了 500 亿元，且以每年超过 40% 的速度增长。

嵌入式系统面向应用，具有资源受限、跨学科等特点。尤其随着嵌入式软件的功能和复杂性日益提高，目前对嵌入式软件开发人员的需求远远大于对硬件系统开发人员的需求。国内许多高校纷纷成立了嵌入式系统专业，培养嵌入式软件开发人员。北京工业大学自 2009 年开始招收软件工程（嵌入式系统方向）实验班，并招收嵌入式系统硕士研究生，经过近五年的本科生和研究生培养，在总结分析软件工程（嵌入式系统方向）学生专业和基础理论特点的基础上，我们编写了本书。

全书共分为 9 章。第 1 章主要介绍嵌入式系统的基本概念及组成；第 2 章主要介绍嵌入式操作系统的基本概念、体系结构、分类和常见的嵌入式操作系统；第 3 章介绍统一建模语言（Unified Modeling Language, UML）的语义、表示方法和基于 UML 的软件分析设计技术；第 4 章介绍基于面向对象技术的软件开发基本概念和原则基础，重点介绍适用于嵌入式系统的统一软件开发过程和嵌入式系统快速面向对象开发过程；第 5 章在介绍需求分析基本概念的基础上，介绍基于 UML 的嵌入式系统需求分析、结构分析和行为分析；第 6 章介绍嵌入式软件的构架设计、机制设计和详细设计；第 7 章介绍嵌入式 Linux 驱动程序、应用软件开发和相关图形界面的开发技术；第 8 章介绍 Windows CE 驱动程序结构和驱动程序的开发调用技术，并介绍 Windows CE 中数据库的开发技术；第 9 章在介绍 MISRA-C: 2004 规则的基础上，阐述嵌入式软件测试相关模型与技术。

本书在编写过程中参考借鉴了朱成果、康一梅、Douglas 等专家学者的成果，在此表示感谢！同时，本书编写过程中得到了何福贵、赵辉等的大力帮助，在此表示诚挚的感谢！

由于作者水平有限，并受到时间和精力限制，本书在深度和广度上有一定的不足之处，恳请大家批评指正。

作 者

2014 年 8 月

目 录

前言

第 1 章 嵌入式软件开发导论	1
1.1 概述	1
1.1.1 定义	1
1.1.2 发展历史	2
1.1.3 应用领域	3
1.1.4 特点	5
1.2 嵌入式系统的组成	6
1.2.1 嵌入式处理器	6
1.2.2 嵌入式外围设备	7
1.2.3 嵌入式操作系统	8
1.2.4 嵌入式应用软件	8
1.3 嵌入式软件的开发流程	9
1.3.1 需求分析阶段	10
1.3.2 设计阶段	11
1.3.3 生成代码阶段	13
1.3.4 固化阶段	16
1.3.5 嵌入式软件开发的特点	16
1.4 嵌入式系统开发的硬件资源	18
1.4.1 在线仿真器	18
1.4.2 逻辑分析仪	19
1.4.3 ROM 仿真器	19
1.4.4 源程序模拟器	20
1.4.5 示波器	20
1.5 嵌入式系统开发的软件资源	20
1.5.1 语言编译工具	20
1.5.2 交叉调试器	21
1.5.3 实时多任务操作系统	21
1.5.4 集成开发环境	21

1.5.5 板级支持包	22
1.6 嵌入式软件的可移植性和可重用性	23
1.7 小结	25
参考文献	25
第2章 嵌入式操作系统	26
2.1 嵌入式操作系统基础	26
2.1.1 概念	26
2.1.2 设计原则	27
2.1.3 发展和趋势	29
2.2 嵌入式操作系统的体系结构	30
2.2.1 单模块结构	31
2.2.2 层次结构	31
2.2.3 微内核结构	32
2.2.4 层次与微内核相结合的结构	33
2.3 嵌入式操作系统的分类	34
2.4 常见嵌入式实时操作系统	35
2.4.1 VxWorkS	35
2.4.2 pSOS	36
2.4.3 QNX	37
2.4.4 Delta OS	37
2.4.5 μ C/OS II	38
2.5 嵌入式 Linux 操作系统	39
2.5.1 系统特点	39
2.5.2 引导程序	40
2.5.3 Linux 内核	42
2.5.4 文件系统	45
2.6 Windows CE	47
2.6.1 简介	47
2.6.2 体系结构	49
2.7 小结	52
参考文献	52
第3章 UML 建模技术	53
3.1 面向对象基础	53
3.1.1 基本概念	53

3.1.2 特征	55
3.1.3 要素	56
3.2 UML 语义	57
3.2.1 元模型理论	57
3.2.2 UML 的组织结构	58
3.2.3 UML 建模概念	59
3.2.4 UML 的构造事物	61
3.2.5 UML 中的关系	62
3.3 UML 图形表示	63
3.3.1 UML 静态结构图	64
3.3.2 use case 图	68
3.3.3 UML 交互图	69
3.3.4 UML 状态图	71
3.3.5 UML 活动图	73
3.3.6 UML 实现图	74
3.4 基于 UML 的软件建模	75
3.4.1 UML 建模过程	75
3.4.2 UML 建模过程的特点	76
3.4.3 UML 建模实例	79
3.5 小结	84
参考文献	85
第 4 章 面向对象的嵌入式软件开发过程	86
4.1 面向对象开发过程中的基本概念	86
4.1.1 模式	86
4.1.2 复用	86
4.1.3 构架	87
4.1.4 框架	87
4.1.5 模型	87
4.2 面向对象软件开发原则	88
4.2.1 迭代式开发	88
4.2.2 模型驱动	89
4.2.3 MDA 的开发模式	89
4.3 用例驱动、以框架为核心的迭代增量开发过程	92
4.3.1 用例驱动	92

4.3.2	以框架为核心	95
4.3.3	迭代和增量式过程	96
4.4	统一软件开发过程	97
4.4.1	先启阶段	98
4.4.2	精化阶段	98
4.4.3	构建阶段	99
4.4.4	产品化阶段	99
4.4.5	迭代开发与控制管理	99
4.5	嵌入式系统快速面向对象开发过程	100
4.5.1	ROPES 中的主要活动	101
4.5.2	ROPES 过程中的阶段工件	103
4.5.3	嵌入式软件框架	107
4.6	小结	109
	参考文献	109
第 5 章	面向对象的嵌入式软件需求分析	110
5.1	基本概念	110
5.1.1	需求分析目标和内容	110
5.1.2	用例模型	112
5.1.3	用例的补充描述	115
5.2	需求分析	119
5.3	结构分析	121
5.3.1	领域分析与问题陈述	122
5.3.2	发现对象	122
5.3.3	标识关联	125
5.3.4	标识对象属性	126
5.3.5	建立系统的类模型	127
5.4	行为分析	132
5.4.1	对象行为	132
5.4.2	状态行为	132
5.4.3	建立状态模型	136
5.4.4	建立交互模型	138
5.4.5	增加类的主要操作	140
5.5	小结	140
	参考文献	141

第 6 章 面向对象的嵌入式系统软件设计	142
6.1 软件构架设计	142
6.1.1 系统分解	142
6.1.2 软件体系结构	144
6.1.3 并发性	149
6.1.4 选择持续数据管理基础设施	150
6.1.5 选择完整性控制策略	150
6.1.6 选择全局控制流机制	151
6.1.7 边界条件处理	151
6.1.8 人机界面设计	152
6.2 嵌入式系统机制设计	153
6.2.1 设计模式	153
6.2.2 Adapter 设计模式	154
6.2.3 匹配合适的模式	160
6.2.4 确定问题内部的并发性	161
6.2.5 选择软件控制策略	162
6.2.6 处理边界条件	163
6.2.7 权衡开发策略的优先级	163
6.2.8 填补从高层需求到底层服务间的空白	164
6.2.9 用操作实现用例	164
6.2.10 将操作分配给类	165
6.2.11 设计优化	165
6.2.12 组织类	167
6.3 嵌入式系统详细设计	168
6.3.1 数据结构	168
6.3.2 关联的实现	169
6.3.3 对象接口	172
6.3.4 操作及其可见性	172
6.3.5 用于实现操作的算法	172
6.4 小结	173
参考文献	173
第 7 章 Linux 系统嵌入式软件开发	175
7.1 驱动程序开发	175
7.1.1 驱动程序结构	175

7.1.2	驱动程序分类	177
7.1.3	驱动程序加载方式	180
7.1.4	字符设备驱动程序实例	182
7.2	Linux 应用软件开发	184
7.2.1	嵌入式视频服务器	184
7.2.2	嵌入式 Linux 的 GUI	187
7.2.3	Qt/Embedded 简介	189
7.2.4	Qt/Embedded 的开发环境	192
7.2.5	Qt/Embedded 常用类	194
7.3	代码优化	196
7.3.1	代码优化分类	196
7.3.2	源代码优化	197
7.3.3	中间代码优化	199
7.3.4	目标代码优化	200
7.4	小结	200
	参考文献	200
第 8 章	Windows CE 嵌入式软件开发	201
8.1	Windows CE 开发基础	201
8.1.1	BootLoader 定制	201
8.1.2	Windows CE 开发工具	203
8.2	Windows CE 驱动程序开发	205
8.2.1	Windows CE 驱动程序分类	205
8.2.2	Windows CE 流接口驱动结构	208
8.2.3	Windows CE 流接口驱动开发实例	211
8.3	Windows CE 应用程序开发	221
8.3.1	开发 Windows CE 流接口驱动测试程序	221
8.3.2	Windows CE 中访问数据库	225
8.4	小结	229
	参考文献	229
第 9 章	嵌入式软件测试	231
9.1	MISRA-C 编程规范	231
9.2	嵌入式软件静态测试	243
9.2.1	代码分析	243
9.2.2	错误分析	244

9.2.3 代码检查	244
9.3 嵌入式软件动态测试	245
9.3.1 白盒测试	246
9.3.2 黑盒测试	247
9.3.3 灰盒测试	247
9.4 嵌入式软件测试过程	248
9.4.1 过程模型	249
9.4.2 单元测试	251
9.4.3 集成测试	252
9.4.4 确认测试	253
9.4.5 系统测试	254
9.5 嵌入式软件测试工具	255
9.5.1 纯软件的测试工具	255
9.5.2 纯硬件的测试工具	256
9.5.3 软硬件结合的测试工具	256
9.5.4 主流嵌入式软件测试工具比较	257
9.6 小结	258
参考文献	258

第 1 章 嵌入式软件开发导论

本章主要介绍嵌入式系统（embedded system）的基本概念及其组成。通过本章的学习将了解嵌入式系统的系统架构和嵌入式系统中软硬件之间的紧密关系，为理解后续章节打下基础。

1.1 概 述

嵌入式系统以其特有的信息处理能力和独到的人机交互能力引起了人们极大的关注，已经成为带动电子信息产业发展的一个重要增长点。随着通信、电子和计算技术的发展，嵌入式系统在 21 世纪得到广泛应用。从消费电器到工业设备，从民用产品到军用器材，嵌入式系统已广泛应用到网络、手持通信设备、国防军事、消费电子和自动化控制等各个领域。

1.1.1 定义

嵌入式系统虽然起源于微型计算机时代，但由于微型计算机的体积、价位、可靠性等指标均无法满足广大嵌入式应用系统的要求，所以其逐步走上了独立发展的道路。此外，嵌入式系统不仅与一般个人计算机上的应用系统不同，而且针对不同具体环境设计的嵌入式应用也存在很大差别。这使得人们对嵌入式系统认识的角度不同，且理解也不尽相同。

国际电气工程师学会（Institute of Electrical Engineers, IEE）将嵌入式系统定义为控制、监视或辅助设备、机器甚至工厂操作的装置，这些装置具有如下特征。

- （1）通常执行特定功能。
- （2）以微型电子计算机和外围构成核心。
- （3）有严格的时序和稳定性要求。
- （4）全自动操作循环。

国际电气和电子工程师协会（Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE）从应用角度上将嵌入式系统定义为控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的装置。从该定义中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的结合体，还可以包含机械等附属装置。

微软公司在 2002 年将嵌入式系统定义为：完成某一特定功能或使用某一特定嵌入式应用程序的计算机或计算装置。

但是, 上述定义并不能充分体现嵌入式系统的精髓, 目前国内对于嵌入式系统有一个普遍认同的定义: 嵌入式系统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、功耗等指标的严格要求的专用计算机系统, 它可以实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

1.1.2 发展历史

1946 年电子数字计算机诞生了, 在其后 20 多年的发展进程中, 计算机基本是在特殊的机房中实现数值计算的大型昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代微处理器的出现, 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, 迅速从机房走入人们的日常工作生活中。同时, 微型计算机的高速数值运算能力及其表现出的智能化水平与潜力, 引起了控制领域专业人士的兴趣, 要求将微型计算机嵌入一个对象体系中, 实现对象体系的智能化控制。例如, 对微型计算机进行电气加固、机械加固, 配置不同的外围接口电路, 进而安装到飞机中构成自动驾驶仪或飞机状态监测系统。为了区别于原有的通用计算机系统, 把嵌入对象体系中、实现对象体系智能化控制的计算机称为嵌入式计算机系统。由于嵌入式计算机系统需要将计算嵌入对象体系中, 实现对象的智能化控制, 所以其技术要求和技​​术发展方向与通用计算机系统完全不同。

通用计算机系统的技术要求是高速海量的数值计算, 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。20 世纪末 21 世纪初, 通用计算机系统的软硬件技术飞速发展。其中, 通用微处理器以 Intel 为代表迅速从 286、386、486 等系列发展到奔腾、酷睿等系列; 同时, 通用计算机操作系统在网络和数据处理等方面功能日趋强大, 这些因素迅速扩张了通用计算机高速海量数据的处理能力。

嵌入式计算机系统的技术要求是对象的智能化控制能力, 技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入式计算的性能、控制能力与可靠性。因此, 嵌入式计算机系统走上了一条完全不同的道路, 即单芯片化道路。这条发展道路以微电子学科、电子学科为基础, 融入了计算机学科、通信、软件工程等领域知识。而多学科的交叉与融合, 剔除了嵌入式系统的“专用计算机”观念, 促进了嵌入式系统的健康发展, 并迅速从传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时代。

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心, 直接决定嵌入式硬件平台的运算能力, 它是根据应用领域的特殊需求而设计的。自 20 世纪 70 年代面向嵌入式应用的单片机 (Single Chip Microcomputer, SCM) 诞生, 其发展经历了 SCM、微控制单元 (Micro Controller Unit, MCU)、片上系统 (System on Chip, SoC) 三大阶段。随着嵌入式处理器的发展, 嵌入式系统总体上经历了如下三个阶段。

(1) 以单个芯片为核心的系统。无操作系统支持, 大部分用于工业控制

系统。

(2) 以嵌入式中央处理器 (Central Processing Unit, CPU) 为基础、嵌入式操作系统为核心的嵌入式系统。

(3) 以 Internet 为标志的嵌入式系统。

当前, 随着人工智能、人机交互和网络技术在嵌入式系统中的广泛应用, 嵌入式系统表现出如下发展趋势。

(1) 应用复杂化、智能化。随着智能计算技术、人机交互技术的发展, 人们对嵌入式产品的功能和智能化程度都提出了更高的要求, 嵌入式系统逐步成为复杂应用的承载平台。目前出现的一些典型复杂应用包括高清数字图像处理系统、嵌入式人脸识别系统、嵌入式生物特征分析系统、汽车电子中的智能感知系统等。

(2) 网络化。随着网络和无线通信技术的飞速发展, 网络彻底地改变了计算和信息共享的方式, 大量的嵌入式设备亟须通过网络连接提升其服务能力和应用价值。尤其物联网 (Internet of things) 的问世, 必将打破个人计算机在网络中的统治地位, 也预示着嵌入式系统将在网络的世界中扮演更重要的角色。

物联网是通过不同信息传感设备 (如传感器、射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器和气体感应器等) 实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程, 采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息, 与互联网结合形成的一个巨大网络。其目的是实现物与物、物与人、所有的物品与网络的连接, 进而实现方便地识别、管理和控制。物联网技术是智慧星球、精准农业、智能交通、智能电网等应用的核心, 而嵌入式计算正是物联网技术的基础。

(3) 普适计算。它是指无所不在的、随时随地可以进行的计算, 对计算平台的体积、移动性、互连性都有较高的要求。作为普适计算的天然载体, 嵌入式系统自然与普适计算的发展紧密相关。目前常见的普适计算应用包括智能手持设备、车载智能设备、智能卡等。当然, 普适计算技术的进一步发展, 将会给嵌入式系统的应用带来更多新的机遇。

1.1.3 应用领域

随着信息技术的发展和数字化产品的普及, 嵌入式系统已广泛应用于网络、手持通信设备、国防军事、消费电子和自动化控制等各个领域中, 与人们的生活、工作紧密联系在一起, 如图1.1所示。

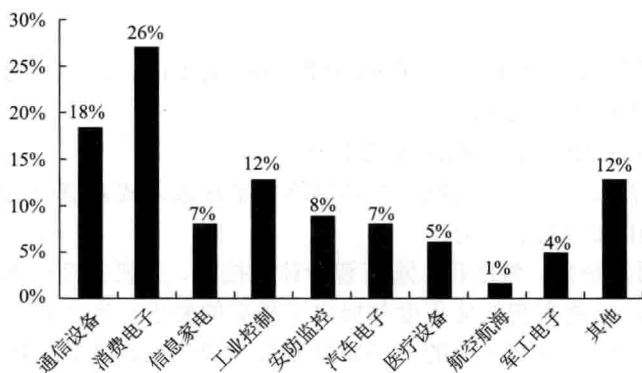


图 1.1 嵌入式系统应用领域

(1) 消费电子与信息家电。后个人计算机时代, 计算将无处不在, 家用电器和消费电子向数字化和网络化发展。电视机、冰箱、微波炉、电话等都将嵌入计算能力, 并通过家庭控制中心与互联网连接, 转变为智能网络家电, 还可以实现远程医疗、远程教育等。常见的消费类电子产品如机顶盒、数码相机、数字电视、WebTV、网络冰箱、网络空调、家庭网关、智能家用电器、嵌入式视频服务器、车载导航系统等。

(2) 通信市场。设计和制造嵌入式服务器、嵌入式网关和嵌入式路由器已成为互联网的关键和核心技术。其中包括路由器、交换机等各种网络设备。同时, 各类通信终端设备更是依赖嵌入式技术, 如电话、手机、智能手持设备等, 以及在通信平台上的一系列应用产品, 如卫星和全球定位系统等。

(3) 工业控制。目前已经有大量的 8 位、16 位、32 位嵌入式微控制器在工业自动化设备中得到应用, 而嵌入了网络功能的工业自动化正成为提高生产效率和产品质量、减少人力资源的主要途径。嵌入式系统正融入工业过程控制、数控机床、电力系统等传统工业领域, 同时在制造工厂污水处理系统、自动化工厂控制系统开发、机器人等新领域也得到了广泛应用。随着技术的发展, 32 位、64 位的处理器逐渐成为工业控制设备的核心, 在未来几年内必将获得长足的发展。

(4) 商业和金融市场。嵌入式系统已经深深融入商业和金融市场, 例如, 信用卡系统、自动柜员机、POS (Point of Sale) 机、无线支付终端。嵌入式计算技术与商业、金融市场的融合, 直接导致了人们的支付形式、消费习惯等发生转变。

(5) 办公市场。不知不觉中, 人们的办公环境也离不开嵌入式的各类设备了。例如, 电话系统、传真系统、复印机、计时系统、照相机和摄像机等。嵌入式系统融入办公环境, 不但提高了人们的办公效率, 同时也逐步地改变了人们的工作习惯和工作方式。例如, 远程视频会议、在家办公等新工作形式的出现。

(6) 交通市场。越来越发达的交通技术和交通平台正改变着人们的生活。无论天上的飞机、宇宙飞船，还是海里的船舶、水下潜艇，陆上的铁路和汽车，都离不开嵌入式技术的支持。例如，航空（铁路、公路）交通运输监控系统、交通指挥系统、售票系统、检票系统、停车系统、行李处理系统、应急设备等。

(7) 建筑市场。嵌入式技术在建筑领域的应用也越来越广泛。例如，电力供应（备用）电源和发电机、火警控制系统、供热和通风系统、电梯升降系统、车库管理、电子门锁与安保系统、闭路电视系统等。

(8) 医疗市场。嵌入式系统在医疗上的应用，不仅给医生带来越来越多先进的医学检查设备和手段，同时也给病人带来越来越多先进的治疗仪器和设备。例如，心脏除颤器、心脏起搏器、患者信息监测系统、理疗控制系统、电磁成像系统、医疗影像网络（Picture Archiving and Communication Systems, PACS）（主要功能包括医学影像的采集和数字化、图像的存储和管理、医学图像的高速传输、图像的数字化处理和重现等）。

(9) 军事工业产品。嵌入式技术也融入了军工产品中。例如，数字化单兵信息装备、夜视扫描、全球定位等。同时，部队的作战指挥系统——C4ISR（指挥、控制、通信、计算机、情报、监视、侦察）也都依赖于嵌入式技术。

1.1.4 特点

与通用计算机系统相比，嵌入式系统具有以下显著特征。

(1) 专用性。嵌入式计算机系统用于特定设备、完成特定任务。

(2) 可封装性。嵌入式计算机系统可隐藏于目标系统内部而不被操作者察觉。嵌入式 CPU 大多工作在为特定用户群所设计的系统中，把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部，从而使嵌入式系统的设计趋于小型化、专业化。

(3) 通常具有功耗低、体积小、集成度高、成本低等特点。同时，随着其与网络的结合越来越紧密，嵌入式系统呈现出移动计算的能力。

(4) 实时性。与实际事件的发生频率相比，嵌入式系统能在极短、可预知的时间内对事件或用户的干预做出响应。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处理器的内部存储器件中，而不存储于外部的磁盘等载体中。

(5) 可靠性。嵌入式计算机隐藏在系统或设备中，并与系统的其他子系统保持一定的独立性，用户很难直接接触、控制，具有较高的可靠性。

(6) 较长的生命周期。嵌入式系统与具体应用有机结合，它的升级换代也和相应产品同步进行。因此，嵌入式系统一旦进入市场，一般具有较长的生命周期。

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体工艺、电子技术和通信网络技术与各领域的具体应用相结合的产物。这一特点决定了它必然是一个技术密集、资