

实践导向的内容体系
遵循任务导向、案例教学的组织结构
注重职业素养培养
启发学生创新思维的内涵设计

高等职业教育课程改革项目研究成果系列教材
“互联网+”新形态教材

嵌入式技术及应用开发 (STM32版)

王丽佳 张华 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育课程改革项目研究成果系列教材
“互联网+”新形态教材

嵌入式技术及应用开发 (STM32 版)

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 王丽佳 | 张 华 | |
| 副主编 | 高军利 | 李月朋 | 马继红 |
| 参 编 | 李香服 | 胡雪花 | 孙 荟 |
| | 温彬彬 | 刘 龙 | 刘媛媛 |

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书介绍了意法半导体（STMicroelectronics，ST）公司的 32 位基于 ARM Cortex - M3 的 STM32F103ZET6 处理器的应用与开发实践。本书以解决实际项目为主线，将任务驱动、理实一体的教学方法融入教学全过程，由浅入深，层层递进，系统地介绍了 STM32 嵌入式系统设计与实践中的各种硬件和软件设计知识。

本书通俗易懂，内容丰富，适用于职业院校的电子信息技术、自动化技术、机器人技术、应用电子技术等专业学生的教学。在内容的设计上，本书依据国家相关专业教学标准，结合就业岗位实际工作任务要求，注重落实“立德树人”的根本要求，引入了企业新技术、新工艺，同时将行业标准、职业规范引入教材，将嵌入式技术中最基本、最重要的内容与实际产品案例相结合，具有较强的实践性。本书为新形态一体化教材，每个知识点配有相应的微课视频，并提供与教材匹配的“嵌入式系统应用”在线开放课程，以及有关的微课、习题等。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式技术及应用开发：STM32 版 / 王丽佳, 张华
主编. -- 北京：北京理工大学出版社, 2021.9
ISBN 978 - 7 - 5763 - 0431 - 2

I. ①嵌… II. ①王… ②张… III. ①微处理器 - 系
统设计 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 205454 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北盛世彩捷印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15.75

字 数 / 358 千字

版 次 / 2021 年 9 月第 1 版 2021 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 55.00 元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前言

本书选取正点原子战舰 V3 开发板为平台，其控制核心为 STM32F103ZET6 处理器，该处理器具有功耗低、外设多、配套资料齐全等优势。本书内容由浅入深，层层递进，系统讲解了常用外设的功能及其使用方法，使学生能够轻松掌握 STM32 嵌入式系统设计与实践中的各种硬件和软件设计知识。本书适用于电子信息工程技术、自动化技术、机器人技术、应用电子技术等专业学生的教学。

本书紧贴嵌入式技术领域的最新发展趋势，突出技能培养在课程中的主体地位，以解决实际项目为主线，将任务驱动、理实一体的教学方法融入教学全过程。第一部分，详细介绍了嵌入式系统和 STM32 微控制器的基本概念，并介绍了 STM32 处理器的工作原理与结构、最小系统、STM32 标准外设函数库，详细讲解了 Keil MDK5 开发工具的使用方法，为后面的实践开发应用奠定了基础。第二部分，详细讲解了 STM32 嵌入式系统设计中 GPIO 端口、外部中断、STM32 定时器及其中断和脉宽调制功能、USART 串口通信。第三部分，由浅入深地介绍了 FSMC 驱动 LCD、A/D 转换、温度传感器等。本书力求使学生轻松踏上学习 STM32 之路，在实践过程中不知不觉掌握各种知识和技能，养成软件开发的规范意识。

学生在学习模拟电子技术、数字电子技术、C 语言、单片机技术等课程的基础上，通过本书的学习，可掌握 STM32F103X 系列嵌入式硬件系统的组成和使用；能熟练地使用 Keil MDK5 进行软件开发，掌握 STM32 控制系统应用开发的基本概念、基本方法，熟悉实际嵌入式电子产品的软件程序的开发、测试、维护流程，培养开发完整嵌入式电子产品的基本技能，为后续更高阶课程的学习打下基础。本书对学生从事电子产品的硬件电路开发、应用程序开发、技术支持等工作岗位的职业能力和职业素质的培养起主要支撑作用。

本书由河北工业职业技术大学省级优秀教师王丽佳、张华主编，副主编为石家庄科林电气股份有限公司的高军利、河北工业职业技术大学的李月朋和邯郸职业技术学院的马继红，其中高军利为本书的编写提供了典型应用项目，并提供了宝贵的参考意见和相关课程资源。河北工业职业技术大学的李香服、胡雪花、孙荟、温彬彬、刘龙、刘媛媛参与了本书的编写工作，河北工业职业技术大学的郝敏钗教授担任本书的主审。本书的出版得到了北京理工大学出版社的鼎力支持，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不足之处，敬请读者不吝赐教。

编者

目录

| | |
|-------------------------------|-----------|
| 项目一 走进 STM32 的世界 | 1 |
| 任务 1 认识嵌入式系统 | 1 |
| 1.1.1 任务分析 | 1 |
| 1.1.2 知识链接 | 2 |
| 任务 2 ARM 概述 | 12 |
| 1.2.1 任务分析 | 12 |
| 1.2.2 知识链接 | 13 |
| 任务 3 STM32 最小系统 | 18 |
| 1.3.1 任务分析 | 18 |
| 1.3.2 知识链接 | 18 |
| 任务 4 标准外设库工程的建立 | 21 |
| 1.4.1 任务分析 | 21 |
| 1.4.2 任务实施规划 | 22 |
| 1.4.3 任务实施 | 22 |
| 任务 5 程序下载与调试 | 31 |
| 1.5.1 任务分析 | 31 |
| 1.5.2 任务实施 | 31 |
| 项目二 声音报警系统的设计与实现 | 45 |
| 任务 1 跑马灯控制系统的设计与实现 | 45 |
| 2.1.1 任务分析 | 45 |
| 2.1.2 任务实施规划 | 46 |
| 2.1.3 知识链接 | 46 |
| 2.1.4 任务实施 | 55 |
| 任务 2 声音报警系统的设计与实现 | 60 |
| 2.2.1 任务分析 | 60 |
| 2.2.2 任务实施规划 | 60 |



| | |
|-----------------------------------|------------|
| 2.2.3 知识链接 | 61 |
| 2.2.4 任务实施 | 61 |
| 任务3 按键检测系统的设计与实现 | 67 |
| 2.3.1 任务分析 | 67 |
| 2.3.2 任务实施规划 | 67 |
| 2.3.3 知识链接 | 67 |
| 2.3.4 任务实施 | 70 |
| 项目三 中断系统的设计与实现 | 81 |
| 任务1 按键中断控制 LED 灯 | 81 |
| 3.1.1 任务分析 | 81 |
| 3.1.2 任务实施规划 | 82 |
| 3.1.3 知识链接 | 82 |
| 3.1.4 任务实施 | 90 |
| 任务2 定时器中断控制 LED 灯 | 95 |
| 3.2.1 任务分析 | 95 |
| 3.2.2 任务实施规划 | 95 |
| 3.2.3 知识链接 | 96 |
| 3.2.4 任务实施 | 106 |
| 任务3 PWM 脉宽调制的设计与实现 | 112 |
| 3.3.1 任务分析 | 112 |
| 3.3.2 任务实施规划 | 112 |
| 3.3.3 知识链接 | 113 |
| 3.3.4 任务实施 | 118 |
| 项目四 STM32 串口通信的设计与实现 | 123 |
| 任务1 与 PC 串口通信的设计与实现 (查询方式) | 123 |
| 4.1.1 任务分析 | 123 |
| 4.1.2 任务实施规划 | 124 |
| 4.1.3 知识链接 | 124 |
| 4.1.4 任务实施 | 133 |
| 任务2 与 PC 串口通信的设计与实现 (中断方式) | 136 |
| 4.2.1 任务分析 | 136 |
| 4.2.2 任务实施规划 | 137 |
| 4.2.3 知识链接 | 137 |
| 4.2.4 任务实施 | 138 |
| 项目五 显示系统的设计与实现 | 143 |
| 任务1 OLED 显示系统的设计与实现 | 143 |
| 5.1.1 任务分析 | 143 |
| 5.1.2 任务实施规划 | 144 |



| | |
|---------------------------------|------------|
| 5.1.3 知识链接 | 144 |
| 5.1.4 任务实施 | 160 |
| 任务2 LCD 显示系统的设计与实现 | 165 |
| 5.2.1 任务分析 | 165 |
| 5.2.2 任务实施规划 | 165 |
| 5.2.3 知识链接 | 166 |
| 5.2.4 任务实施 | 191 |
| 项目六 ADC 采集系统的设计与实现 | 199 |
| 任务1 电压采集系统的设计与实现 | 199 |
| 6.1.1 任务分析 | 199 |
| 6.1.2 任务实施规划 | 200 |
| 6.1.3 知识链接 | 200 |
| 6.1.4 任务实施 | 211 |
| 任务2 光照采集系统的设计与实现 | 218 |
| 6.2.1 任务分析 | 218 |
| 6.2.2 任务实施规划 | 218 |
| 6.2.3 知识链接 | 218 |
| 6.2.4 任务实施 | 219 |
| 项目七 环境温度采集系统的设计与实现 | 225 |
| 参考文献 | 241 |

项目一

走进 STM32 的世界

项目描述

本项目主要介绍嵌入式系统的定义、组成结构、应用领域、发展趋势、特点，ARM 处理器的发展历程及其体系结构，Cortex - M3 内核，STM32 微控制器内部结构，STM32 最小系统组成，STM32 标准外设库工程模板的建立。通过本项目的学习，可以掌握嵌入式系统、STM32 微控制器的基本知识，并能够独立建立 STM32 标准外设库工程模板，为后续项目的学习奠定基础。

项目目标

- 了解通用计算机和嵌入式计算机的发展现状；
- 理解嵌入式系统的定义、组成结构和应用领域；
- 了解嵌入式系统的发展趋势；
- 了解嵌入式系统的特点；
- 了解 ARM 处理器的发展历程及其体系结构；
- 掌握 Cortex - M3 内核分类；
- 了解 STM32 的内部结构；
- 掌握 STM32 最小系统组成结构；
- 能够独立建立 STM32 标准外设库工程模板；
- 掌握 Keil 软件的下载、仿真与调试方法。

任务 1 认识嵌入式系统

1.1.1 任务分析

1. 任务描述

本任务的主要内容是学习嵌入式系统的基本知识，包括嵌入式系统的定义、组成结构、应用领域、发展趋势和特点。

2. 任务目标

- (1) 了解通用计算机和嵌入式计算机的发展现状;
- (2) 理解嵌入式系统的定义、组成结构和应用领域;
- (3) 了解嵌入式系统的发展趋势;
- (4) 了解嵌入式系统的特点。

1.1.2 知识链接



嵌入式系统概述

现代计算机技术发展分为两大分支：通用计算机系统和嵌入式计算机系统。

通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数值计算，其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。由国防科技大学研制的“天河二号”通用计算机系统，以峰值计算速度达每秒 5.49 亿亿次、持续计算速度达每秒 3.39 亿亿次的优异性能，成为当时全世界最快的超级计算机。

超级通用计算机主要用来承担重大的科学研究、国防尖端技术开发和国民经济领域的大型计算课题及数据处理任务，如大范围天气预报、卫星照片整理、原子核物理的探索、国民经济发展计划的制定等。

嵌入式计算机系统（以下简称嵌入式系统）与通用计算机系统的本质区别在于系统应用不同。嵌入式系统是将一个计算机系统嵌入对象系统。这个对象可能是庞大的机器，也可能是小巧的手持设备，用户并不关心这个计算机系统的存在。嵌入式系统的技术要求是对象的智能化控制能力，其技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

早期，人们勉为其难地对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，众多的对象系统（如家用电器、仪器仪表工控单元等）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。这就形成了现代计算机技术发展的两大分支。

1. 嵌入式系统的定义

嵌入式系统是一种包括硬件和软件的完整的计算机系统。

美国电气和电子工程师协会（IEEE）对嵌入式系统的定义是：“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”，它是一种专用的计算机系统。

国内普遍认同的嵌入式系统定义是：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。

嵌入式系统所用的计算机是嵌入被控对象的专用微处理器，但是其功能比通用计算机专门化，具有通用计算机所不具备的针对某个方面特别设计的、合适的运算速度，高可靠性和较低成本。

嵌入式系统作为装置或设备的一部分，它是一个控制程序存储在只读存储器（ROM）或 FLASH 中的嵌入式处理器控制板。事实上，所有带有数字接口的设备，如手表、微波炉、录像机、汽车等，都使用了嵌入式系统。

2. 嵌入式系统的组成结构

嵌入式系统由硬件和软件组成，两类不同的嵌入式系统结构模型如图 1.1 所示。硬件是整个嵌入式操作系统和应用程序运行的平台，不同的应用通常有不同的硬件环境。嵌入

式系统的硬件部分包括处理器/微处理器、存储器、I/O 接口及输入/输出设备。嵌入式系统的软件由嵌入式操作系统和应用程序组成。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，应用程序运行于嵌入式操作系统之上 [对于一些简单的嵌入式系统，应用程序可以不需要嵌入式操作系统的支持，直接运行在底层，如图 1.1 (a) 所示]，利用嵌入式操作系统提供的机制完成特定功能的嵌入式应用。

由于嵌入式系统的灵活性和多样性，图 1.1 中各个层次之间缺乏统一的标准，几乎每个独立的系统都不一样，这就给上层的软件设计人员开发应用程序带来了极大的困难。

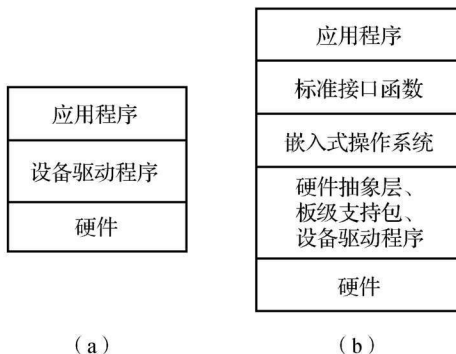


图 1.1 两类不同的嵌入式系统结构模型

(a) 不带嵌入式操作系统支持；(b) 带嵌入式操作系统支持

3. 嵌入式系统的硬件组成

嵌入式系统硬件平台是以嵌入式处理器为核心，由存储器、I/O 单元电路、通信模块、外部设备等必要的辅助接口组成的，如图 1.2 所示。

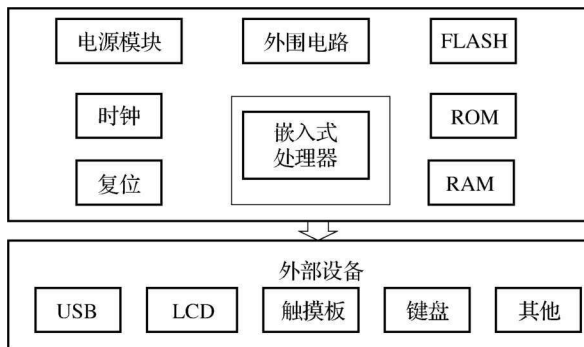


图 1.2 嵌入式系统的硬件组成

1) 嵌入式处理器

嵌入式系统的核心是各种类型的嵌入式处理器，嵌入式处理器的体系结构经历了从 CISC（复杂指令集）到 RISC（精简指令集）和 Compact RISC 的转变，位数则由 4 位、8 位、16 位、32 位逐步发展到 64 位。现在常用的嵌入式处理器可分为低端的嵌入式微控制器（Embedded Microcontroller Unit, EMCU）、中高端的嵌入式微处理器（Embedded Microprocessor Unit, EMPU）、嵌入式 DSP 处理器（Embedded Digital Signal Processor, EDSP）和高度集成的嵌入式片上系统（Embedded System on a Chip, ESoC）。目前大部分半导体制造商都生产嵌入式处理器，并且越来越多的公司开始拥有自主的嵌入式处理器设计



部门。据不完全统计,全世界嵌入式处理器已经超过 1 000 种,流行的体系结构有 30 多个系列,其中以 ARM、PowerPC、MC 68000、MIPS 等使用得最为广泛。

2) 存储器

嵌入式系统有别于一般的通用计算机系统,它不具备像硬盘那样大容量的存储介质,而用静态易失型存储器(RAM、SRAM)、动态存储器(DRAM)和非易失型存储器(ROM、EPROM、EEPROM、FLASH)作为存储介质,其中 FLASH 凭借其可擦写次数多、存储速度快、存储容量大、价格低等优点,在嵌入式领域得到了广泛应用。

3) I/O 接口

I/O 接口是嵌入式处理器与 I/O 设备连接的桥梁。与通用 CPU 不同的是,嵌入式处理器芯片将通用计算机中许多由单独芯片或板卡完成的接口功能集成到芯片内部,从而有利于嵌入式系统在设计时趋于小型化,同时还具有很高的效率和可靠性。

4) 输入/输出设备

为了使嵌入式系统具有友好的界面、方便人机交互,嵌入式系统中需配制输入/输出设备。常用的输入/输出设备有液晶显示器(LCD)、触摸板、键盘等。

嵌入式开发的硬件平台选择主要是嵌入式处理器的选择。在具体应用中嵌入式处理器的选择决定了其市场竞争力。在一个嵌入式系统中使用什么样的嵌入式处理器主要取决于应用领域、用户的需求、成本、开发的难易程度等因素。在开发过程中,选择最适用的硬件平台是一项很复杂的工作,要考虑能否满足应用的设计目标、开发工具是否好用等因素,应遵循“够用”的原则,不能片面追求高性能。

4. 嵌入式系统的软件组成

1) 嵌入式操作系统

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,它是嵌入式系统(包括硬、软件系统)极为重要的组成部分,通常包括与硬件相关的底层驱动软件、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面、标准化浏览器等。嵌入式操作系统具有通用计算机操作系统的基本特点,如能够有效管理越来越复杂的系统资源,能够把硬件虚拟化,使开发人员从繁忙的驱动程序移植和维护中解脱出来,能够提供库函数、驱动程序、工具集以及应用程序。与通用计算机操作系统相比较,嵌入式操作系统在系统的实时高效性、硬件的相关依赖性、软件固态化以及应用的专用性等方面具有较为突出的特点。

2) 嵌入式应用软件

嵌入式应用软件是针对特定应用领域,基于某一固定的硬件平台,用来达到用户预期目标的计算机软件。由于用户任务可能有时间和精度上的要求,因此有些嵌入式应用软件需要特定嵌入式操作系统的支持。嵌入式应用软件和普通应用软件有一定的区别,它不仅要在准确性、安全性和稳定性等方面能够满足实际应用的需要,而且还要尽可能地得到优化,以减少对系统资源的消耗,降低硬件成本。

3) 硬件抽象层

硬件抽象层(Hardware Abstraction Layer, HAL)是位于嵌入式操作系统内核与硬件电路之间的接口层,其目的在于将硬件抽象化。也就是说,可通过程序控制所有硬件电路,如 CPU、I/O 接口、存储器等的操作。这样就使系统的设备驱动程序与硬件设备无关,从而大大提高了系统的可移植性。



4) 板级支持包

板级支持包 (Board Support Package, BSP) 是介于主板硬件和嵌入式操作系统中驱动层程序之间的一层, 一般认为它属于嵌入式操作系统的一部分, 主要是实现对嵌入式操作系统的支持, 为上层的驱动程序提供访问硬件设备寄存器的函数包, 使之能够更好地运行于硬件主板。

5) 设备驱动程序

计算机系统中安装设备后, 只有在安装相应的设备驱动程序之后才能使用, 设备驱动程序为上层软件提供设备的操作接口。上层软件不用理会设备内部的具体操作, 只需调用设备驱动程序提供的接口。

6) 嵌入式操作系统的应用程序接口函数

应用程序接口 (Application Programming Interface, API) 是一系列复杂的函数、消息和结构的集合体。嵌入式操作系统下的 API 和一般操作系统下的 API 在功能、含义及知识体系上完全一致。

嵌入式应用软件是实现嵌入式系统功能的关键, 对嵌入式系统对系统软件和应用软件的要求与通用计算机系统有所不同, 主要有以下特点:

(1) 软件要求固化存储。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嵌入式微处理器本身, 而不是存储于磁盘等载体中。

(2) 软件代码要求高质量、高可靠性。尽管半导体技术的发展使嵌入式处理器速度不断提高、片上存储器容量不断增加, 但在大多数应用中, 存储空间仍然是宝贵的, 还存在实时性的要求。为此, 要求程序编写和编译工具的质量要高, 以缩短程序二进制代码长度、提高执行速度。

(3) 系统软件 (OS) 的高实时性是基本要求。在多任务嵌入式系统中, 对重要性各不相同的任务进行统筹兼顾的合理调度是保证每个任务及时执行的关键, 单纯通过提高嵌入式处理器速度是无法完成和没有效率的, 这种任务调度只能由优化编写的系统软件来完成, 因此, 系统软件的高实时性是基本要求。

(4) 嵌入式系统软件需要实时多任务操作系统 (RTOS) 开发平台。为了满足实时性应用需求、充分利用硬件资源、增强可靠性和便于开发, 实时多任务操作系统成为嵌入式软件必需的系统软件。

(5) 在嵌入式系统的软件开发过程中, 采用 C 语言是最佳的选择。

5. 嵌入式系统的特点

嵌入式系统主要具有以下特点:

(1) 可裁剪性。支持开放性和可伸缩性的体系结构。

(2) 强实时性。嵌入式操作系统实时性一般较强, 可用于各种设备控制。

(3) 统一的接口。提供设备统一的驱动接口。

(4) 操作方便、简单, 提供友好的图形用户界面 (GUI), 便于用户学习和使用。

(5) 提供强大的网络功能, 支持 TCP/IP 及其他协议, 提供 TCP/UDP/IP/PPP 支持及统一的 MAC 访问层接口, 为各种移动设备预留接口。

(6) 稳定性强, 交互性弱。嵌入式系统一旦开始运行就不需要用户过多干预, 这就要求负责系统管理的嵌入式操作系统具有较强的稳定性。嵌入式操作系统的用户接口一般不

提供操作命令，它通过嵌入式系统的调用命令向用户程序提供服务。

(7) 固化代码。在嵌入式系统中，嵌入式操作系统和应用软件被固化在嵌入式系统计算机的 ROM 或 FLASH 中。

(8) 硬件适应性更好，也就是移植性良好。

(9) 嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起，它的升级换代也是和具体产品同步进行的，因此嵌入式系统产品进入市场后具有较长的生命周期。

6. 嵌入式系统的应用领域

随着工业 4.0、医疗电子、智能家居、物流管理和电力控制等的快速发展和推进，嵌入式系统利用自身的技术特点，逐渐成为众多行业的标配产品。嵌入式系统具有可控制、可编程、成本低等优点，目前已在国防、国民经济及社会生活各领域普及应用，用于企业、军队、办公室、实验室以及个人家庭等各种场所，如图 1.3 所示。

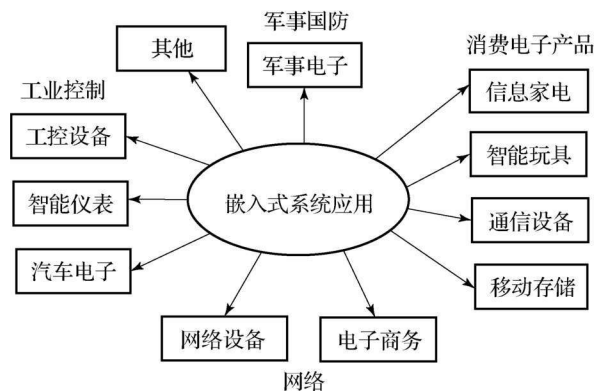


图 1.3 嵌入式系统的应用领域

1) 消费电子产品

消费电子产品是指围绕消费者应用而设计的，与生活、工作、娱乐等息息相关的电子产品，最终实现消费者自由选择资讯、享受娱乐的目的。嵌入式系统最为成功的应用是在智能电子设备中的应用，如手机、平板电脑、数字电视机、机顶盒、数码照相机、VCD、DVD、音响设备、家庭网络设备、洗衣机、电冰箱、智能玩具等。这些消费电子产品都是依托嵌入式系统的高效、稳定、经济等特性为消费者提供物美价廉的服务。

2) 工业控制

工业控制系统是满足图像、语音等大数据量信号高速率传输要求的以太网与控制网络的结合。对于各种智能测量仪表、数控装置、可编程控制器、控制机、分布式控制系统、现场总线仪表及控制系统、工业机器人、机电一体化机械设备、汽车电子设备等，将诸如嵌入式技术、多标准工业控制网络互联、无线技术等多种当今流行技术融合进来，拓展了工业控制领域的发展空间，带来了新的发展机遇。

3) 网络管理

互联网的发展，产生了大量网络基础设施、接入设备、终端设备的市场需求。这些设备中大量使用嵌入式系统。各类收款机、POS 系统、电子秤、条形码阅读机、商用终端、银行点钞机、IC 卡输入设备、取款机、自动柜员机、自动服务终端、防盗系统、各种银行专业外围设备以及各种医疗电子仪器，无一不用到嵌入式系统。



4) 物联网

物联网是新一代计算机的组成部分，简单来讲就是物物相连的互联网，不同的是其用户端延伸到任何物品之间，进行信息交换和通信。物联网能够通过智能感知、识别技术与计算机进行多网融合。物联网的三大关键技术为：传感器技术、射频识别技术、嵌入式系统技术。

5) 军事国防

各种武器控制装置（火炮控制、导弹控制、智能炸弹制导引爆装置），坦克、舰艇、轰炸机等陆、海、空各种军用电子装备，雷达、电子对抗军事通信装备，各种野战指挥作战专用设备等均涉及嵌入式系统。

6) 智慧医疗

智慧医疗通过打造健康档案区域医疗信息平台，利用最先进的物联网技术，实现患者与医务人员、医疗机构、医疗设备之间的互动，逐步实现信息化。嵌入式技术是未来智慧医疗的核心，其实质是将传感器技术、射频识别技术、无线通信技术、数据处理技术、网络技术、视频检测识别技术、GPS 技术等综合应用于整个医疗管理体系中进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、追踪、监控和管理的一种网络技术，它可以建立实时、准确、高效的医疗控制和管理系统。

7) 智能交通

智能交通系统（ITS）主要由交通信息采集、交通状况监视、交通管理、信息发布和通信五大子系统组成。它们都是 ITS 的运行基础，而以嵌入式系统为主的交通管理子系统就像人体内的神经系统一样在 ITS 中起着至关重要的作用。嵌入式系统应用在测速雷达（返回数字式速度值）、运输车队遥控指挥系统、车辆导航系统等方面，在这些应用系统中能对交通数据进行获取、存储、管理、传输、分析和显示，以供交通管理者或决策者对交通状况进行决策和研究。

8) 环境工程

如今人们的生存环境受很多因素的影响，如气候变暖、工业污染、农业污染等。传统的人工检测无法实现对大规模环境的管理。嵌入式系统在环境工程中的应用包含很多方面，如水文资料实时监测、防洪体系及水土质量监测、堤坝安全监测、地震监测、实时气象信息监测等。通过利用最新的技术实现水源和空气污染监测，在很多环境恶劣、地况复杂的地区，嵌入式系统将实现无人监测。

嵌入式系统可以说无处不在，它有着广阔的发展前景，面临着机遇和挑战。

7. 嵌入式系统的发展趋势

1) 物联网方向

随着信息产业第三次发展浪潮的到来，嵌入式系统将获得更为巨大的发展契机。所谓信息产业第三次发展浪潮，是指无处不在的泛在计算和物联网。

物联网是新一代信息技术的重要组成部分。顾名思义，“物联网就是物物相连的互联网”。这有两层意思：一是物联网的核心和基础仍然是互联网，是在互联网基础上延伸和扩展的网络；二是其用户端延伸和扩展到任何物品之间，进行信息交换和通信。物联网，智能感知、识别技术与普适计算，泛在网络的融合应用，被称为继通用计算机、互联网之后世界信息产业的第三次发展浪潮。

网络互联成为必然趋势，未来的嵌入式设备为了适应网络发展的要求，必然要求硬件上提供各种网络接口。传统的单片机对于网络支持不足，而新一代嵌入式处理器已经开始内嵌网络接口，除了支持 TCP/IP，有的还支持 IEEE1394、USB、CAN、Bluetooth 或 WIFI 通信接口中的一种或几种，同时也需要提供相应的通信组网协议软件和物理层驱动软件。

友好的多媒体人机交互界面使嵌入式设备能与用户亲密接触。这需要嵌入式软件设计者在图形用户界面和多媒体技术上痛下苦功。

2) 人工智能方向

在人工智能的背景下，嵌入式人工智能已是大势所趋，它正成为当前最热门的人工智能商业化途径之一。人工智能与嵌入式系统有什么关系呢？人工智能不可能没有嵌入式系统。要实现人工智能的行为，必须使用嵌入式系统，单片机、嵌入式系统也开启了人工智能的历史进程。在万物互联、万物智能的新时代，嵌入式人工智能技术的发展将使设备端具有更高的智能。5G 物联网核心技术的发展，也将全面释放人工智能的潜能，带动智能设备的爆发式发展。

目前，人工智能、嵌入式、物联网三种技术相结合的产品非常多，应用领域也非常广泛，不管在城市交通、家居领域，还是在农业生产、工业生产领域，都能见到这类产品。

3) 智能化制造方向

新一轮汽车、通信、信息电器、医疗、军事等行业巨大的智能化装备需求拉动了嵌入式系统的发展。工业 4.0 以信息物理系统 (Cyber - Physical Systems, CPS) 为基础，将体现信息技术与制造技术深度融合的数字化、智能化制造作为今后发展的主线，CPS 通过 3C (Computation、Communication、Control) 技术的有机融合与深度协作，让物理设备具有计算、通信、控制、远程协调和自治等五大功能。

嵌入式技术作为 CPS 的关键技术，将推动工业产品和技术的升级换代，极大地提高汽车、航空航天、国防、工业自动化、健康及医疗设备等主要工业领域的竞争力。

总之，我国对物联网发展的大力扶植和产业推动，必将更快速地推动智能化电子应用领域的扩张，越来越多的嵌入式设备将走进人们的生活，改变人们的生活，为人们展现更精彩的世界。



知识拓展

嵌入式系统的起源与发展历程

1. 现代计算机技术的两大分支

电子数字计算机诞生于 1946 年，在其后漫长的历史进程中，计算机始终是存放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 年代微处理器出现，计算机才出现了历史性的变化。人们将微型机嵌入一个对象体系，实现对对象体系的智能化控制。为了区别于原有的通用计算机系统，把嵌入对象体系，实现对象体系智能化控制的计算机称作嵌入式系统。

嵌入式系统诞生于微型机时代，嵌入式系统的嵌入性本质是将一个计算机嵌入一个对象体系，这是理解嵌入式系统的基本出发点。



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

早期，人们勉为其难地对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，对于众多对象系统（如家用电器、仪器仪表、工控单元等），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，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。嵌入式系统的诞生，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的时代。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。这两大分支的技术要求和技术发展方向见表 1.1。

表 1.1 现代计算机技术两大分支的技术要求和技术发展方向

| 两大分支 | 技术要求 | 技术发展方向 |
|---------|------------|----------------------------|
| 通用计算机系统 | 高速、海量的数值计算 | 总线速度的无限提升、存储容量的无限扩大 |
| 嵌入式系统 | 对象的智能化控制能力 | 与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性 |

1) 通用计算机系统

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 80286、80386、80486、奔腾发展到酷睿系列，操作系统也朝着提高资源利用率、增强计算机系统性能的方向迅速发展，使通用计算机系统进入尽善尽美的阶段。

2) 嵌入式系统

嵌入式系统的发展目标是单芯片化。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时代。

因此，现代计算机技术发展的两大分支的意义在于：一是形成了计算机发展的专业化分工；二是将发展计算机技术的任务扩展到传统的电子系统领域；三是使计算机成为进入人类社会全面智能化时代的有力工具。

2. 始于微型机时代的嵌入式应用

嵌入式计算机的真正发展是在微处理器问世之后。1971 年 11 月，英特尔公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起，推出了第一款微处理器 Intel 4004，其后各厂家陆续推出了许多 8 位、16 位的微处理器，包括 Intel 8080/8085、8086，摩托罗拉的 6800、68000，以及 Zilog 公司的 Z80、Z8000 等。以这些微处理器作为核心所构成的系统，广泛地应用于仪器仪表、医疗设备、机器人、家用电器等领域。微处理器的广泛应用形成了一个广阔的嵌入式应用市场，计算机厂家开始大量地以插件方式向用户提供 OEM 产品，再由用户根据自己的需要选择一套适合的 CPU 板、存储器板以及各式 I/O 插件板，从而构成专用的嵌入式系统，并将其嵌入自己的系统设备。

从灵活性和兼容性方面考虑，出现了系列化、模块化的单板机。流行的单板机有英特尔公司的 iSBC 系列、Zilog 公司的 MCB 等。后来人们可以不必从选择芯片开始设计一台专用的嵌入式计算机，只要选择各功能模块，就能够组建一台专用计算机系统。用户和开发

者都希望从不同的厂家选购适合的 OEM 产品, 将其插入外购或自制的机箱中就形成新的系统, 这样就希望插件是互相兼容的, 也就导致工业控制微机系统总线的诞生。1976 年, 英特尔公司推出 Multibus, 1983 年扩展为带宽达 40 MB/s 的 MulTibus II。1978 年由 Prolog 设计的简单 STD 总线广泛应用于小型嵌入式系统。

20 世纪 80 年代可以说是各种总线层出不穷、群雄并起的时代。随着微电子工艺水平的提高, 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、A/D 转换、D/A 转换、串行接口以及 RAM、ROM 等部件统统集成到一个 VLSI 中, 从而制造出面向 I/O 设计的微控制器, 即单片机, 成为嵌入式系统异军突起的一支新秀。其后发展的 DSP 产品则进一步提升了嵌入式系统的技术水平, 并迅速地渗入消费电子、医用电子、智能控制、通信电子、仪器仪表、交通运输等领域。

20 世纪 90 年代, 在分布控制、柔性制造、数字化通信、信息家电等巨大需求的牵引下嵌入式系统进一步加速发展。面向实时信号处理算法的 DSP 产品向着高速、高精度、低功耗方向发展。德州仪器公司推出的第三代 DSP 芯片 TMS320C30, 引导微控制器向 32 位高速智能化发展。在应用方面, 掌上电脑、便携式计算机、机顶盒技术相对成熟, 发展也较为迅速, 特别是掌上电脑的发展较为突出。1997 年在美国市场上掌上电脑不过四五个品牌, 而 1998 年年底, 各式各样的掌上电脑如雨后春笋般纷纷涌现。此外, 诺基亚公司 (NoKia) 推出了智能电话, 西门子公司 (Siemens) 推出了机顶盒, 美国慧智公司 (Wyse) 推出了智能终端, 美国国家半导体公司 (NS) 推出了 WebPad——装载在汽车上的小型计算机, 不但可以控制汽车内的各种设备 (如音响等), 还可以与 GPS 连接, 从而自动操控汽车。

21 世纪无疑是网络的时代, 使嵌入式系统应用到各类网络中也必然是嵌入式系统发展的重要方向, 在发展潜力巨大的“信息家电”中, 嵌入式系统与人工智能、模式识别等技术的结合, 将开发出各种更加人性化、智能化的实际系统。伴随网络技术、网络计算的发展, 以嵌入式移动设备为中心的“无所不在的计算”将成为现实。

3. 应用牵引着嵌入式技术的发展方向

人类对信息的获取、表征、传递、处理、使用的永无止境的追求, 推动嵌入式技术的热点不断产生, 嵌入式技术的特征在每个时代及时代中的不同阶段是不同的。在工业化时代, 仪表控制、工业装备及自动控制等是嵌入式技术最早的用武之地; 在信息化时代, 家电、计算机、通信及网络快速发展, 它们都离不开嵌入式技术。

虚拟现实、大数据、云计算、物联网、5G、区块链、人工智能等时代热点促使网络直播、人脸识别、智能家居、自动驾驶、智慧城市等海量应用应运而生。各种智能手机、多用途的无人机、智能辅助汽车、机器人等产品琳琅满目, 嵌入式应用需求日益丰富多样。随着未来物联网、大数据、人工智能技术快速落地, 嵌入式技术将以更大的广度、深度进入人类生活。

应用场景的不断扩展、革新对嵌入式系统的软、硬件生态提出更多要求。早期仅有面向工业控制的微控制器, 很快就产生了面向信号处理、图形处理的 DSP、GPU, 近年来人工智能也不断发展。2010 年以后, 随着应用场景、服务内容的不断丰富, 嵌入式系统芯片种类迅速增长, 复杂度呈指数级提升。飞机、汽车、手机、手表等不同应用领域都出现了定制的异构、多核嵌入式 SoC 系统芯片。快速发展、不断细分的应用场景要求嵌入式系统更加专业化、定制化。人工智能的陆续落地会加剧应用场景的细分需求。面向应用场景定制