

课程号：4240077

# 嵌入式系统

胡四泉

husiquan@ustb.edu.cn

北京科技大学计算机与通信工程学院

1

## 关于本课程

### 课程总述:

- 以32位ARM单片机的C语言编程为主要内容，学习ARM单片机体系结构，以及基于ARM Cortex-M3内核的单片机STM32F103的片上资源结构及编程技术。

### 课程特点:

- 理论和实践相结合
- 软件与硬件相结合

### 学时安排:

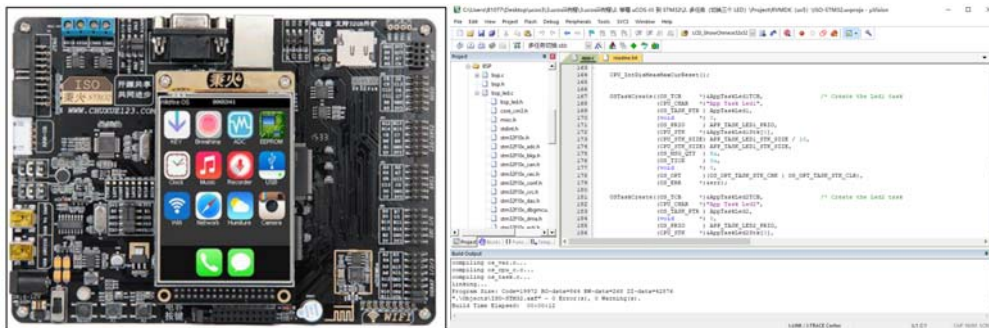
- 理论学时：48学时
- 单列实验课：嵌入式系统实验（32学时:机电楼401、420）

### 课程考核:

- 考勤/课堂讨论：10%
- 作业：20%
- 期末考试：70%

# 软硬件开发平台

硬件平台：STM32F103开发板      软件平台：KEIL 软件

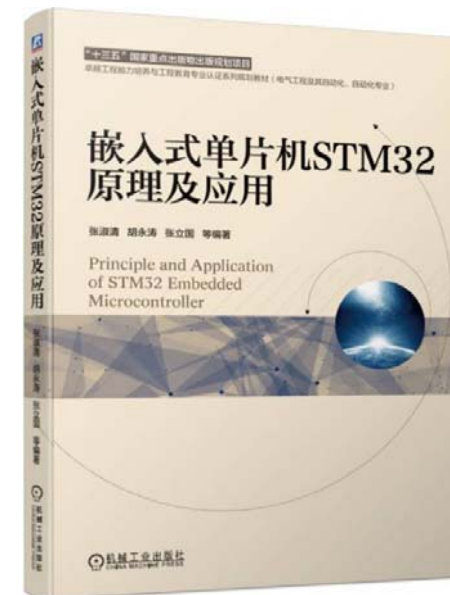


## 教材与参考书

**教材：**《嵌入式单片机STM32原理及应用》/张淑清 等编，机械工业出版社，2018年2月，第1版

**参考书：**

1. 《STM32单片机原理与应用》/徐汉斌编，清华大学出版社，2022年8月，第1版.
2. 《STM32库开发实战指南-基于STM32F103》/刘火良杨森编，机械工业出版社，2017年，第2版
3. 《单片机原理及应用》/张毅刚编，高等教育出版社，2016年，第3版



群聊：2025嵌入式系统课程群



该二维码7天内(9月9日前)有效，重新进入将更新

## 1 嵌入式系统简介

要求深刻以下的基本概念：

- ◆ 嵌入式系统
- ◆ 嵌入式系统的特点
- ◆ 嵌入式系统的分类

要求了解：

- ◆ 嵌入式系统的应用领域
- ◆ 嵌入式系统的现状和发展趋势

## 1.1 嵌入式系统

嵌入式技术的快速发展不仅使之成为当前微电子技术计算机技术中的一个重要分支，同时也使计算机的分类从以前的巨型机、大型机、小型机、微机之分变为了通用计算机和嵌入式系统之分。

嵌入式的应用更是涉及金融、航天、电信、网络、信息家电、医疗、工业控制、军事等各个领域，以致一些学者断言嵌入式技术将成为后PC时代的主宰。

7

### 1.1.1 嵌入式系统概念

根据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，还可以涵盖机电等附属装置。

8

简单地讲：

就是嵌入到对象体中的专用计算机系统。

三要素：嵌入、专用、计算机

嵌入式系统的特点:由三要素引出

- 嵌入性：嵌入到对象体系中，有对象环境要求
- 专用性：软、硬件按对象要求裁减
- 计算机：实现对象的智能化功能

9

广义地说：

一个嵌入式系统就是一个具有特定功能或用途的计算机软硬件集合体。

即以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

嵌入式系统发展的最高形式一片上系统（SOC）

10

## 嵌入式系统的特性：

- 1) 只执行特定功能；
- 2) 以微控制器、外围器件为中心，系统构成可大可小；
- 3) 有严格的时序性和稳定性要求；
- 4) 自动操作循环，等待中断控制；
- 5) 程序被烧写在存储芯片中。

11

## 嵌入式系统的发展：

### 第一阶段

以单芯片为核心的可编程控制器系统，同时具有检测、伺服、指示设备相配合的功能。

主要用于专业性极强的工业控制系统中，一般没有操作系统支持，通过汇编语言对系统进行直接控制。

12

### 系统的主要特点是:

- ◆ 结构和功能相对单一
- ◆ 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、价格便宜，所以，过去在工业领域中应用较为普遍；但是，它们已经远远不能适应高效的、需要大容量存储介质的现代化工业控制和后PC时代新兴的信息家电等领域的应用要求。

13

### 第二阶段

以嵌入式中央处理器为基础，以简单操作系统为核心的嵌入式系统。

### 系统的主要特点是:

- ◆ CPU种类繁多
- ◆ 通用性较弱
- ◆ 系统开销小

◆ 操作系统只具有低度的兼容性和扩展性、应用软件较为专业、用户界面不够友好。

主要任务是用来控制系统负载，以及监控应用程序的运行。

14

### 第三阶段

以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。

系统的主要特点是：

◆嵌入式操作系统能够运行于各种不同类型的处理器之上

◆操作系统内核精小、效率高、模块化程度高、具有文件和目录管理、支持多任务处理、支持网络操作、具有图形窗口和用户界面等功能、具有大量的应用程序接口、开发程序简单、并且嵌入式应用软件丰富。

在通用性、兼容性和扩展性方面仍不理想。

15

### 第四阶段

以基于网络操作为标志的嵌入式系统，这是一个正在迅速发展的阶段。

随着网络在人们生活中的地位日益重要，越来越多的应用需要采用支持网络功能的嵌入式系统，所以在嵌入式系统中使用网络操作系统将成为今后的发展趋势。

16



随着现代社会与经济的快速发展，嵌入式技术在当今应用也越来越广泛，其主要原因是由现代社会与经济发展的大环境决定的：

第一是**Internet**网的普及

第二是**GPS**广泛应用

第三是电信网的普及

第四是无线网络的应用，如**Zigbee**技术等

这些都为嵌入式设备在智能化、数字化、信息网络化上提供了强力保证。

17

### 1.1.2 嵌入式系统的分类

按表现形式分（硬件范畴）：

- ◆ 芯片级嵌入（含程序或算法的处理器）
- ◆ 模块级嵌入（系统中的某个核心模块）
- ◆ 系统级嵌入

按实时性要求分（软件范畴）：

- ◆ 非实时系统（PDA）
- ◆ 软实时系统（消费类产品）
- ◆ 硬实时系统（工业和军工系统）

18

### 1.1.3 嵌入式处理器介绍

嵌入式系统的核心部件是嵌入式处理器，据不完全统计，全世界大约有**1000**多种嵌入式处理器，流行的体系结构有**30**多个系列。如**MCS-51**、**PIC**、**AVR**、**ARM**、**DSP**等，其中**MCS-51**占了多半，生产厂家**20**多个，**350**多种衍生产品，仅**Philips**就有近百种。处理速度从**0.1MIPS**到**2000MIPS**，寻址空间从**64KB**到**4GB**。

19

### 嵌入式微处理器发展趋势

- 经济性（成本）
- 微型化（封装、功耗）
- 智能化（功能、速度）

嵌入式微处理器主要分类如下：

20

- ◆ 微控制器 (MCU) (MicroController Unit)
- ◆ 微处理器 (MPU) (Embedded MicroProcessor Unit)
- ◆ 数字信号处理器 (DSP) ( Digital Signal Processor)
- ◆ 混合处理器和片上系统 (SOC) (System On Chip)
- ◆ 可编程片上系统 (SOPC) (System On Programmable Chip)

21

## 1) 微控制器 (MCU)

- ◆ 嵌入式微控制器的典型代表是单片机这种 8 位的处理器, 目前在嵌入式设备中仍然有着极其广泛的应用。
- ◆ 单片机芯片内部集成ROM/EPROM、RAM、总线逻辑、定时/计数器、I/O、串行口、EEPROM 等各种必要功能和外设。

22

### 特点:

一个系列的微控制器具有多种衍生产品  
单片化、体积大大减小、功耗和成本降低、  
可靠性提高

目前嵌入式工业的主流、约占嵌入式系统  
**70%**的份额

多是**8位**、**16位**、**32位**处理器

### 流行的嵌入式微控制器:

通用系列 :**MCS-51,ARM-Cortex M0/M3**

半通用系列 :支持**I2C,CAN BUS**及众多专用  
**MCU**和兼容系列

23

### ◆ MCU处理能力非常有限

**MCU微控制器**，总线宽度一般为**8位**、**16位**或**32位**，处理速度有限，一般在几个**MIPS**，进行一些复杂的应用很困难，运行操作系统就更难。

24

单片机属于嵌入式系统，故嵌入式系统的历史已经有几十年。

单片机与嵌入式系统有区别，只有嵌入式系统的部分结构和部分功能：

- 1) 单片机数据处理能力有限、处理速度有限，不能够用于所有的嵌入式系统
- 2) 单片机不使用操作系统
- 3) 单片机无网络功能

25

## 2) 微处理器 (MPU)

◆ 嵌入式微处理器 (Micro Processor Unit) 是由通用计算机中的CPU演变而来的，80386—80387

◆ 与计算机处理器不同的是，在实际嵌入式应用中，只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件，去除其他的冗余功能部分，这样就以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。

26

### 特点:

功能和微处理器基本一样,是具有**32位或64位**的处理器,具有较高的性能。

面向移动计算, 智能手机, 服务器等市场的的高端处理器。这类处理器运行在很高的时钟频率(超过**1GHz**), 支持像**Linux, Android, MS Windows**和移动操作系统等完整操作系统需要的内存管理单元(MMU)。

### 流行的嵌入式微处理器:

**ARM Cortex-A8, A15, A35,A75... (ARM公司)**  
**MIPS(MIPS公司)**

27

### 3) 数字信号处理器 (DSP)

◆ DSP处理器是专门用于信号处理方面的处理器, 其在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计, 在数字滤波、FFT、频谱分析等各种仪器上DSP获得了大规模的应用。

28

◆ DSP是运算密集处理器，一般用在快速执行算法，做控制比较困难。为了追求高执行效率，不适合运行操作系统，核心代码使用汇编。

**应用领域：**

数字滤波

频谱分析

**FFT**

**流行的嵌入式DSP：**

**TMS320C2000系列（TI）**

**MCS-296（Intel）**

29

#### 4) 混合处理器和片上系统（SOC）

◆ SOC（片上系统）是IC设计的发展趋势。采用SOC设计技术，可以大幅度地提高系统的可靠性，减少系统的面积和功耗，降低系统成本，极大地提高系统的性能价格比。

◆ SOC芯片已经成为提高移动通信、网络、信息家电、高速计算、多媒体应用及军用电子系统性能的核心器件。

30

**特点:**

结构简洁  
体积小、功耗低  
可靠性高  
设计生产效率高

**流行的SOC:**

**Smart XA (Philips)**

31

## 5) 可编程片上系统 (SOPC)

用可编程逻辑技术把整个系统放到一块硅片上, 称作SOPC。可编程片上系统 (SOPC) 是一种特殊的嵌入式系统:

首先它是片上系统 (SOC), 即由单个芯片完成整个系统的主要逻辑功能;

其次, 它是可编程系统, 具有灵活的设计方式, 可裁减、可扩充、可升级, 并具备软硬件在系统可编程的功能。

32



• **特点:**

- 采用超深亚微米工艺技术
- 使用一个以上的嵌入式处理器/DSP
- 设计方式灵活
- 可裁减、可扩充、可升级
- 软硬件在系统可编程的功能。

33

## 1.1.4 嵌入式系统组成

**粗略划分:**

- 嵌入式处理器
- 外围设备
- 嵌入式操作系统(可选)
- 嵌入式应用软件

**稍细划分:**

- 嵌入式处理器
- 外围设备
- 驱动程序
- 嵌入式操作系统
- 应用接口
- 嵌入式应用软件

34

# iPhone5



苹果A6应用处理器

高通MDM9615M LTE调制解调器

RTR8600 RF收发器

意法半导体 ( ST ) LIS331DLH ( 2233/DSH/GFGHA ) 超低功耗，高性能，三轴线性加速度计

德州仪器 ( TI ) 27C245触摸屏系统单晶片

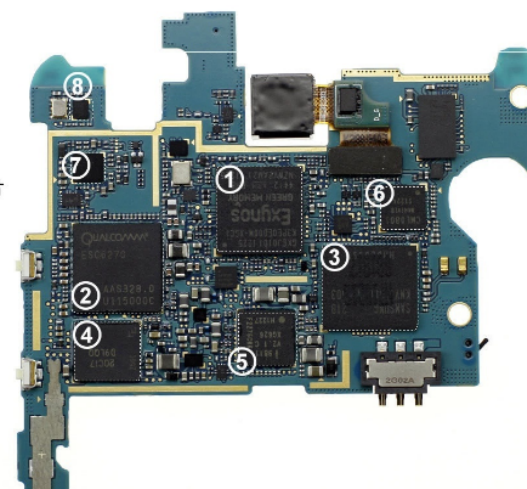
Broadcom的BCM5976触摸屏控制器

35

# Samsung Note II

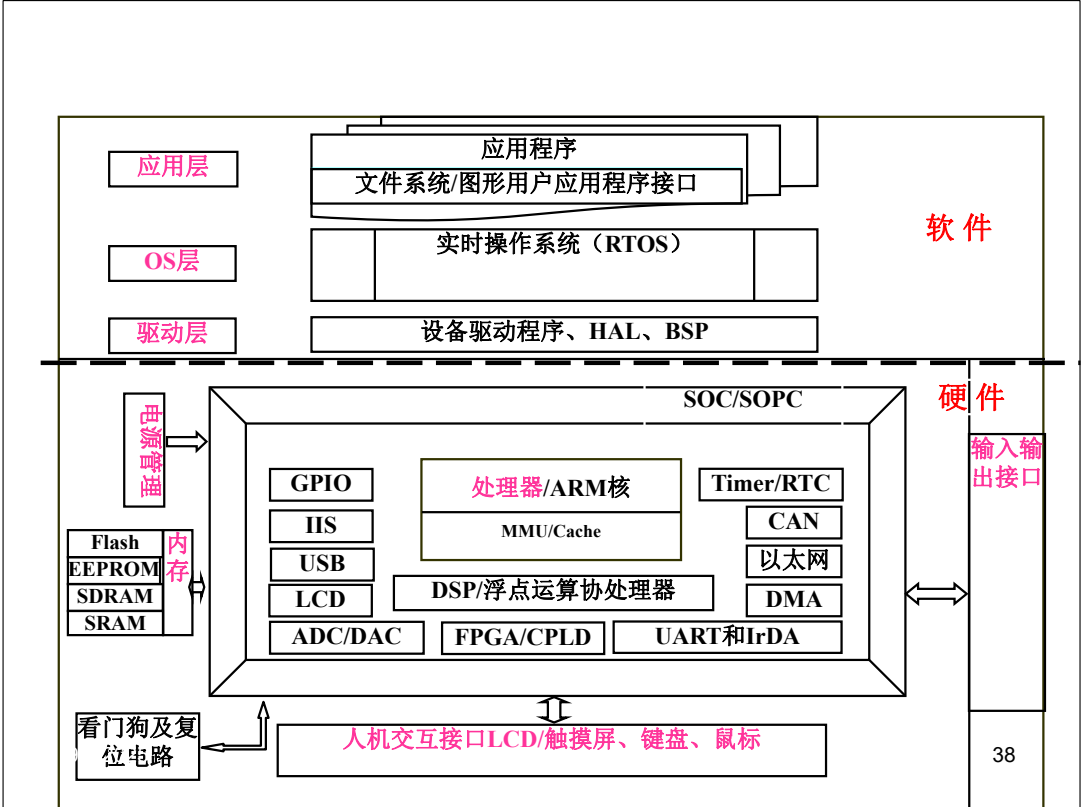
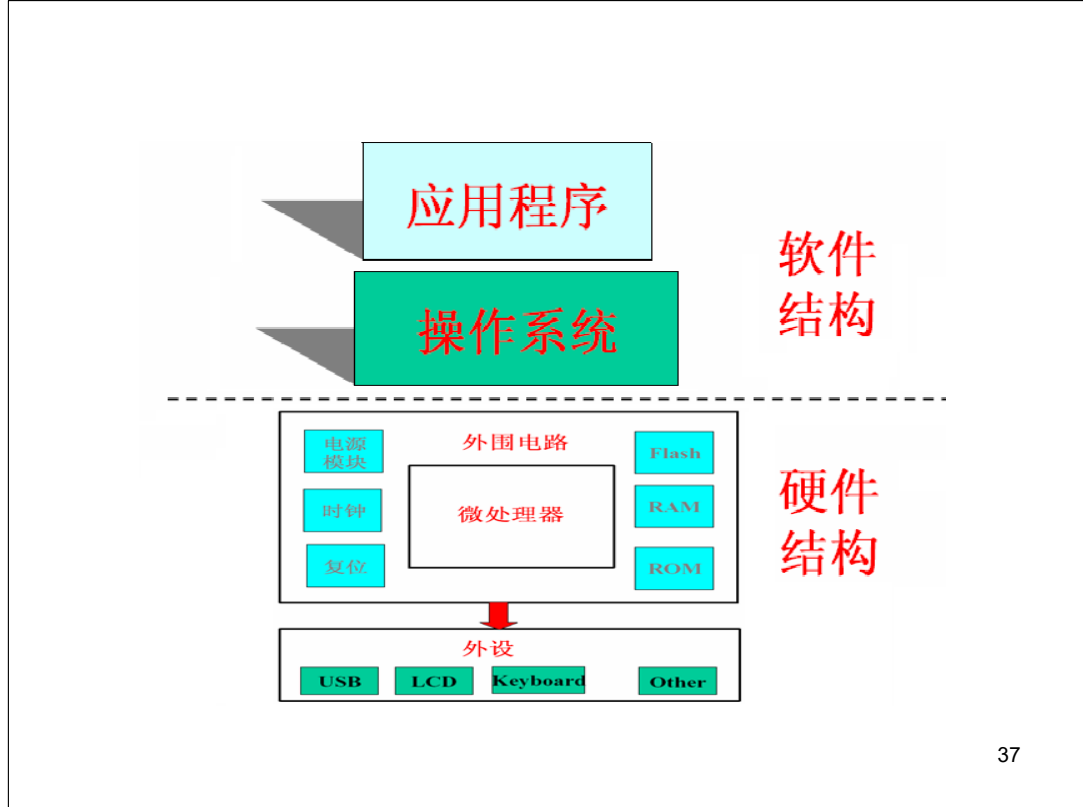


- 1 :  
1.6GHz主频  
三星Exynos 4412  
四核处理器，  
内嵌2GB RAM。
- 2 :  
高通ESC6270基带芯片
- 3 :  
三星KMVTU000LM  
eMMC(16GB)
- 4 :  
20C17/D9LQQ镁光  
芯片 ( 具体作用未知 )



- 5 :  
英特尔XG626  
Modem基带芯片
- 6 :  
CML0801图像信号  
处理器
- 7 :  
Wolfson(欧胜)  
WM1811音频解码  
芯片
- 8 :  
博通GPS芯片

36



### 1.1.5 嵌入式系统开发

#### 1. 嵌入式系统的设计要求

嵌入式系统设计开发不同于桌面系统，它不仅受制于功能而且还受制于具体的应用环境，所以嵌入式系统的设计具有一些特殊的要求：

- 1) 接口方便、操作容易
- 2) 稳定可靠、维护简便
- 3) 功耗管理、降低成本
- 4) 功能实用、便于升级
- 5) 并发处理、及时响应

39

### 2. 嵌入式系统的特点

主要有五个方面的特点：

#### 1) 嵌入式系统是面向具体应用的产品

嵌入式系统可以是面向某一个领域、某一行、某一个用户的具体产品，不具有通用性，不能独立发展。

对功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力等有严格要求。

嵌入式系统软件、硬件（处理器、系统等）生命周期都比较长，有继承性。

#### 2) 嵌入式软件特征

具有实时性，高质量、高可靠，程序固化。

40

### 3)需要软硬件开发工具和系统软件

硬件工具：计算机、开发板、信号发生器、示波器等

软件工具：编辑、编译、调试软件等

系统软件：OS、数据库等

### 4) 需要应用专家参与开发

嵌入式系统一般不是一个独立的应用产品，是某种产品的一部分，所有需要相应方面的应用专家参与。

### 5) 嵌入式系统分散而不可垄断

通用计算机行业被微软和英特尔垄断（软件和硬件）

嵌入式系统领域的芯片、操作系统、软件，充满了竞争、发展和机遇，呈现一种百花齐放的景象。

41

### 3. 嵌入式系统开发特点

需要软硬件综合开发，二者密切相关。

- 任何一个嵌入式产品都是软件和硬件的结合体
- 一旦嵌入式产品研发完成，软件就固化在硬件环境中，嵌入式软件是针对相应的嵌入式硬件开发的，是专用的。

嵌入式系统的这一特点，决定了嵌入式应用开发方法不同于传统的软件工程方法。

42

## 4. 嵌入式系统设计过程

嵌入式系统设计的一般过程如下：

### 1) 系统需求分析

- ◆ 确定设计任务和设计目标，并提炼出设计规格说明书，作为正式设计指导和验收的标准。

- ◆ 系统的需求一般分功能性需求和非功能性需求两方面。

- ◆ 功能性需求是系统的基本功能，如输入输出信号，操作方式等；

- ◆ 非功能性需求包括系统性能，成本，功耗，体积，重量等因素。

43

### 2) 体系结构设计

描述系统如何实现所述的功能和非功能需求，包括：

- ◆ 对硬件，软件和执行装置的功能划分

- ◆ 系统的软件，硬件选型

一个好的体系结构是设计成功与否的关键。

44

### 3) 硬件/软件设计

基于体系结构，对系统的软件和硬件进行详细设计。为了缩短产品开发周期，设计往往是并行的。

一般嵌入式系统设计的工作大部分都集中在软件设计上：

- ◆采用采用面向对象技术
- ◆软件组件技术
- ◆模块化设计是现代软件工程经常采用的方法。

45

### 4) 系统集成

把系统的软件，硬件和执行装置集成在一起，进行调试，发现并改进单元设计过程中的错误。

46

## 5) 系统测试

对设计好的系统进行测试，看其是否满足规格说明书中给定的功能要求。

针对系统的不同的复杂程度，目前有一些常用的系统设计方法，如：

- ◆ 瀑布设计方法
- ◆ 自顶向下设计的方法
- ◆ 自下向上的设计方法
- ◆ 螺旋设计方法
- ◆ 逐步细化设计方法和并行设计方法

根据设计对象复杂程度的不同，可以灵活的选择不同的系统设计方法。

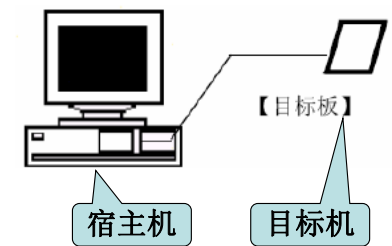
47

## 5. 嵌入式系统软件的开发模式

需要使用交叉编译器，进行交叉开发。

- **交叉编译器**(Cross-compiler): 是一种运行在通用计算机上的、但是能够生成在另一种处理器上运行的目标代码的编译器。

- **交叉开发**: 在一台通用计算机上进行软件的编辑、编译，然后下载到嵌入式系统中运行调试。



48



## 1.2 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统作为一个热门领域，涵盖了微电子技术、电子信息技术、计算机软件和硬件等多项技术领域的应用。

到目前为止，中国嵌入式系统的主要客户分布在电信、医疗、汽车、安全、工业控制和消费类等行业。嵌入式系统的主要应用领域如下图所示。

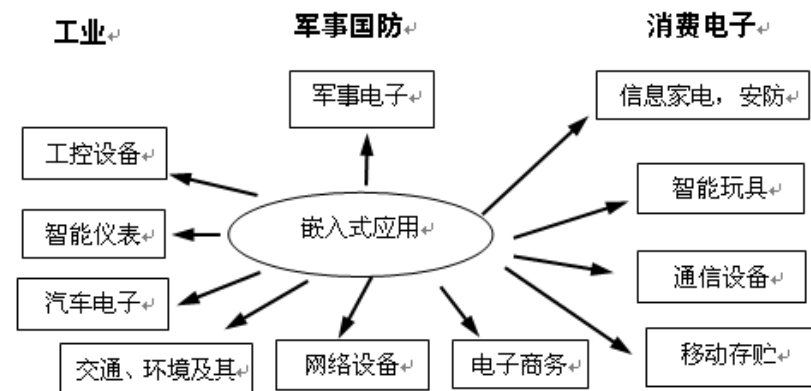


图 1.2.1 嵌入式系统的应用领域

### 1) 工控设备

工业设备是机电产品中最大一类。过去在工业过程控制、数控机床、电力系统、电网安全、电网设备监测、石油化工系统等方面，大部分低端型设备主要采用是 8 位单片机。

随着技术发展，目前许多设备除了进行实时控制外，还须将设备的运行状态，传感器的信息等显示屏上实时显示。

51

### 2) 信息家电，安防

信息家电将成为嵌入式系统最大的应用领域。

具有用户界面，能远程控制，智能管理的电器是未来的发展趋势，如冰箱、空调等的网络化、智能化等。

近年来，安防界影响最大的就是嵌入式系统，安防产品进入嵌入化发展阶段。

52

### 3) 消费类电子

嵌入式系统需求最殷切的是消费电子行业。电信行业传统上就是嵌入式人才的需求大户。由于3G持续升温，这方面的人才也保持了供不应求的势头。

53

### 4) 交通管理、环境监测

#### 交通管理:

车辆导航

流量控制

信息监测

汽车服务等方面

目前GPS（全球定位系统）设备已经从尖端产品进入到了普通百姓的家庭。

54

### 环境监测：

- ◆水文资料的实时监测
  - ◆防洪体系及水土质量的监测
  - ◆堤坝安全
  - ◆地震监测网
  - ◆实时气象信息网
  - ◆水源和空气污染监测等方面
- 嵌入式技术的应用越来越广泛。

55

### 5) 智能仪器

网络分析仪、示波器和医疗仪器等智能仪器设备中也大量用到嵌入式技术。

如：医疗电子应用技术及设备

医疗影像设备

医疗微波治疗与诊断设备

医疗监护设备

便携式电子医疗设备等

56

## 6) 汽车电子

专家预测，汽车电子产品占汽车成本的比例将达到50%，全球市场销售额在近一、二年将超过1000亿美元。

**汽车电子的关键技术包括：**

软件技术

高性能强实时的嵌入式操作系统

汽车电控

汽车网络

汽车电器的嵌入式软件平台及关键技术。

57

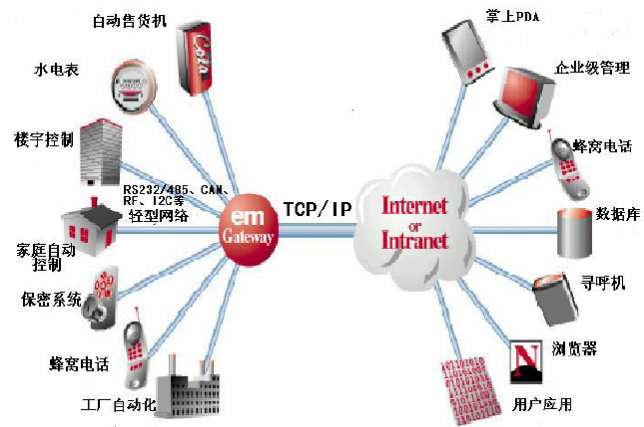
## 7) 军事国防武器

导弹瞄准、雷达识别和电子对抗设备等军事国防武器的仪器中也大量用到嵌入式技术。

58

## 8) 社会发展方面

在社会发展方面，嵌入式技术的应用越来越广泛。嵌入式Internet应用如图。



59

Q&A

60