

嵌入式系统设计与应用

第一章 绪论

西安交通大学电信学院

孙宏滨



自我介绍



- 孙宏滨，副教授，博士生导师。
 - 2003年 西安交大 电力系统及其自动化专业 学士学位
 - 2009年 西安交大 控制科学与工程专业 博士学位
 - 2011年 西安交大 计算机科学与技术流动站 博士后出站
 - 至今 西安交大 电信学院自动化系人机所
- 主要研究领域：视频处理**SoC**芯片、计算机体系结构和计算存储系统。



课件、助教与答疑

- 课件下载: <http://gr.xjtu.edu.cn/web/hsun/>
- 助教: 赵晓青、王欣伟、赵恒宇, 硕士研究生,
18629359302, zhao.xiaoqing@stu.xjtu.edu.cn
- 答疑联系方式:
 - **Mobile** : 13571861726
 - **Email** : hsun@mail.xjtu.edu.cn
 - **Office** : 曲江校区西4楼3楼 提前预约

3



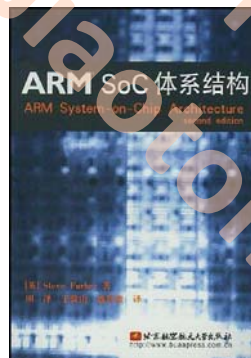
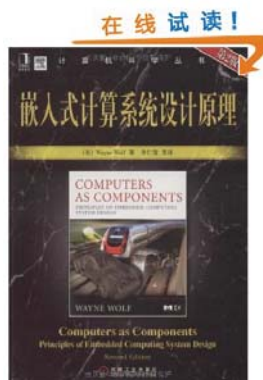
课程要求

- 面向自动化专业或信息专业的高年级本科生
- 自动化和信息专业的学生为什么要学嵌入式系统?
- 前期课程要求
 - 数字逻辑 (数字电子技术)
 - 微机原理
 - C程序语言

4

教学用书

- **Wayne Wolf**, 《嵌入式计算系统设计原理》, 机械工业出版社, 2002年
- **Steve Furber**, 《ARM SoC体系结构》, 北京航空航天大学出版社
- **邵贝贝等**, 《嵌入式实时操作系统μC/OS-II》, 北京航空航天大学出版社, 2003年



5

什么是嵌入式计算系统?

- 宽泛地说, 是指任何包括一个可编程计算机的设备, 但本身并未被刻意设计为一台通用计算机。
- **PC本身不是嵌入式系统。**
- 嵌入式系统的典型范例
 - 智能手机
 - 数字电视
 - 汽车
 - 打印机
 - 电冰箱

第一台计算机 Difference engine

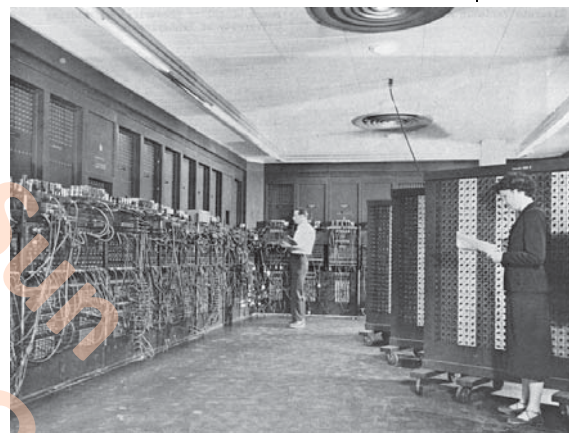


差分机 (Difference engine)

- Charles Babbage于1822-1832年之间研究设计。
- 计算到印刷全自动化，使用**25,000**个零件，组合成为一部重**4吨**的计算机。
- 英国政府出资，共支出了**£ 17,500**。

7

第一台电子计算机 ENIAC



- 二次世界大战末，美国陆军委托宾州大学，以电子计算机来计算弹道资料，**1946**年完成人类第一台电子计算机。
- 包含了**17468**个真空管，重量达**27吨**，耗资**50**万美元。

8

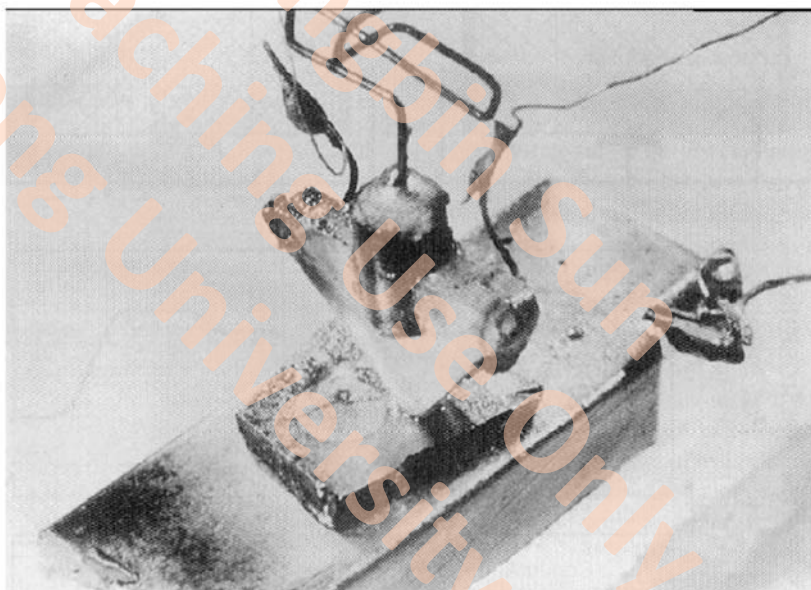
第一台嵌入式系统雏形Whirlwind



- 二次世界大战末，美国海军U.S. Navy委托MIT开发一套能实时模拟飞行器的系统来训练轰炸机飞行员。
- 受ENIAC的启发，MIT开发了旋风计算机，由4000多个真空管组成。

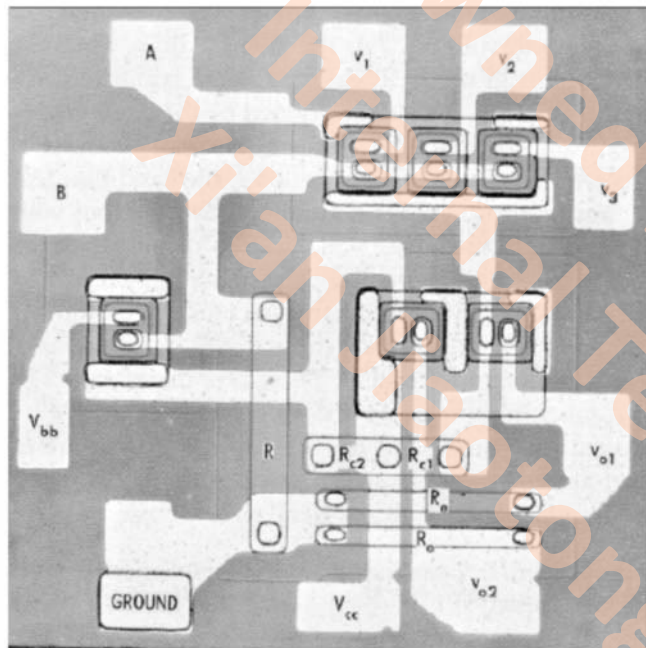
9

第一颗晶体管



First transistor
Bell Labs, 1948

第一块集成电路



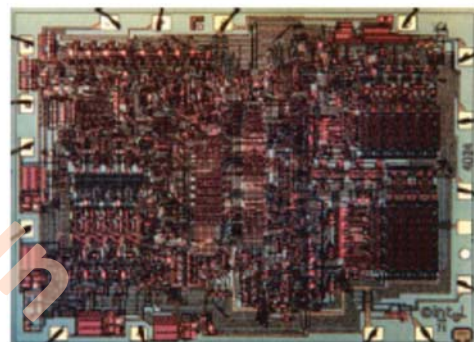
*Bipolar logic
1960's*

ECL 3-input Gate
Motorola 1966

11

第一颗商用微处理器 Intel 4004

- Intel 4004 (1971)
 - Application: calculators
 - Technology: 10000 nm
 - 2300 transistors
 - 13 mm²
 - 108 KHz
 - 12 Volts
- 4-bit data
- Single-cycle datapath



嵌入式处理器：计算器，可编程，
单芯片集成计算机所有逻辑



单核微处理器的顶峰

- Intel Pentium4 (2003)

- Application: desktop/server
- Technology: 90nm (1/100x)

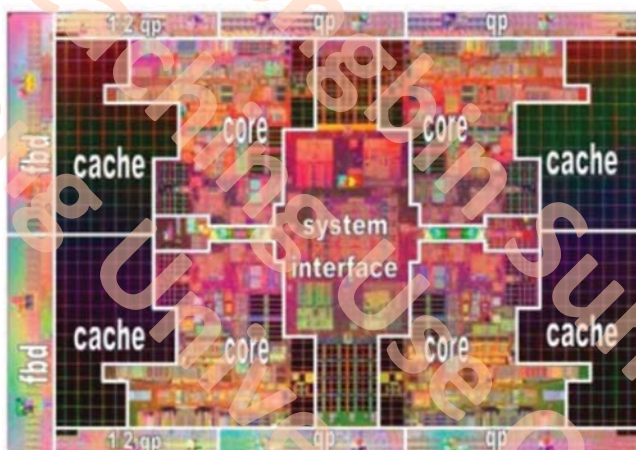
- 55M transistors (20,000x)
- 101 mm² (10x)
- 3.4 GHz (10,000x)
- 1.2 Volts (1/10x)

- 32/64-bit data (16x)
- 22-stage pipelined datapath
- 3 instructions per cycle (superscalar)
- Two levels of on-chip cache
- data-parallel vector (SIMD) instructions, hyperthreading



13

四核处理器Itanium



Quad Core itanium

2GHz, 30 MB cache

2 Billion transistors, 170W

[Intel ISSCC 2008]

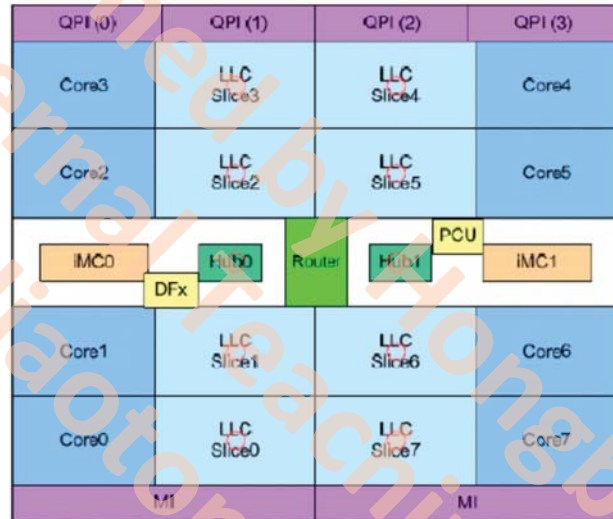
	FET count	Voltage	Power
Core logic	430M	0.9-1.15V	100W
Sys int	157M	0.9-1.15V	30W
L3 cache	1,420M	1.10V	20W
IO logic	39M	1.10V	20W
Chip Total	2.046B		170W

14

八核处理器Xeon

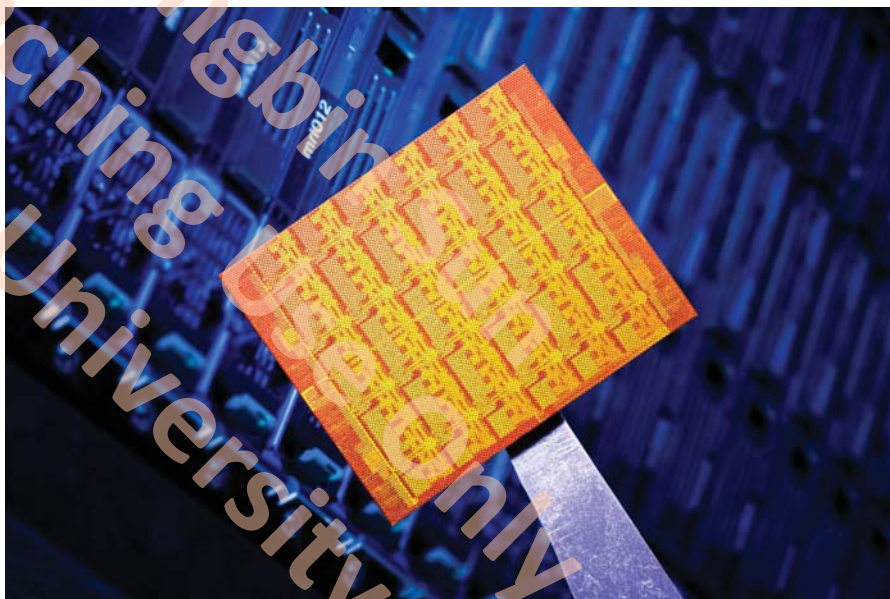
■ Shown on ISSCC09

- 2.3×10^9 transistors
- 8x 64b dual thread Nehalem core
- 45nm 9 Metals, High-K CMOS technology
- 130 W
- Large L3 cache



15

The Future: Processor becomes a Transistor?



Intel 48 cores single chip cloud computing

16

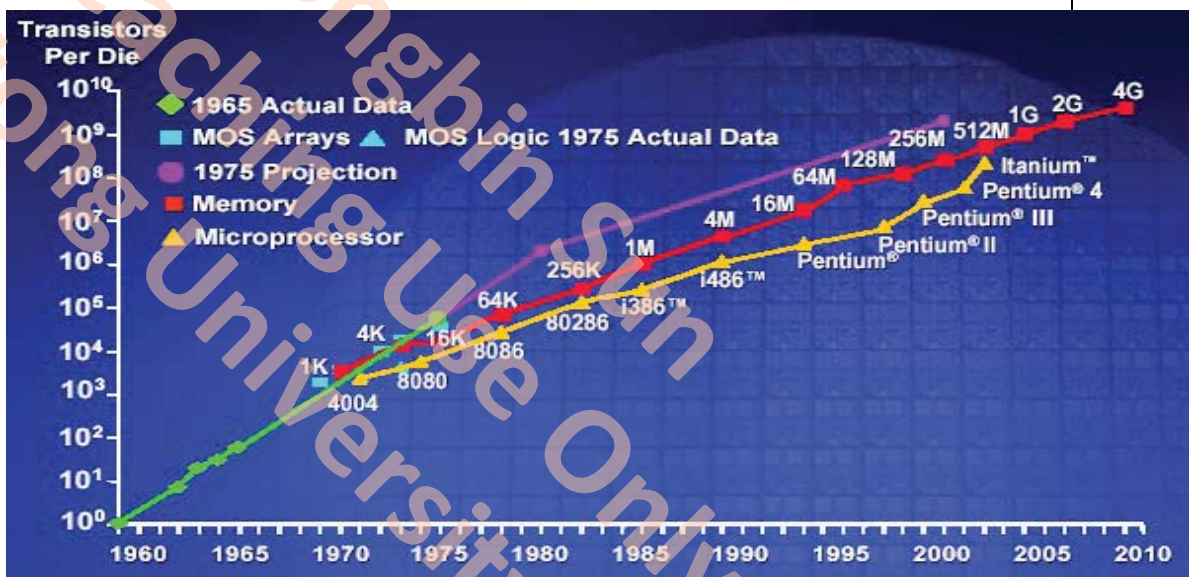
半导体技术推动计算机飞速发展



- Prehistory: Generations
 - 1st Tubes
 - 2nd Transistors
 - 3rd Integrated Circuits
 - 4th VLSI....
 - 5th Nanotubes? Optical? Quantum?
- Discrete advances in each generation
 - Faster, smaller, more reliable, easier to utilize
- Modern computing: Moore's Law
 - Continuous advance, fairly homogeneous technology

17

The Moore's Law 摩尔定律

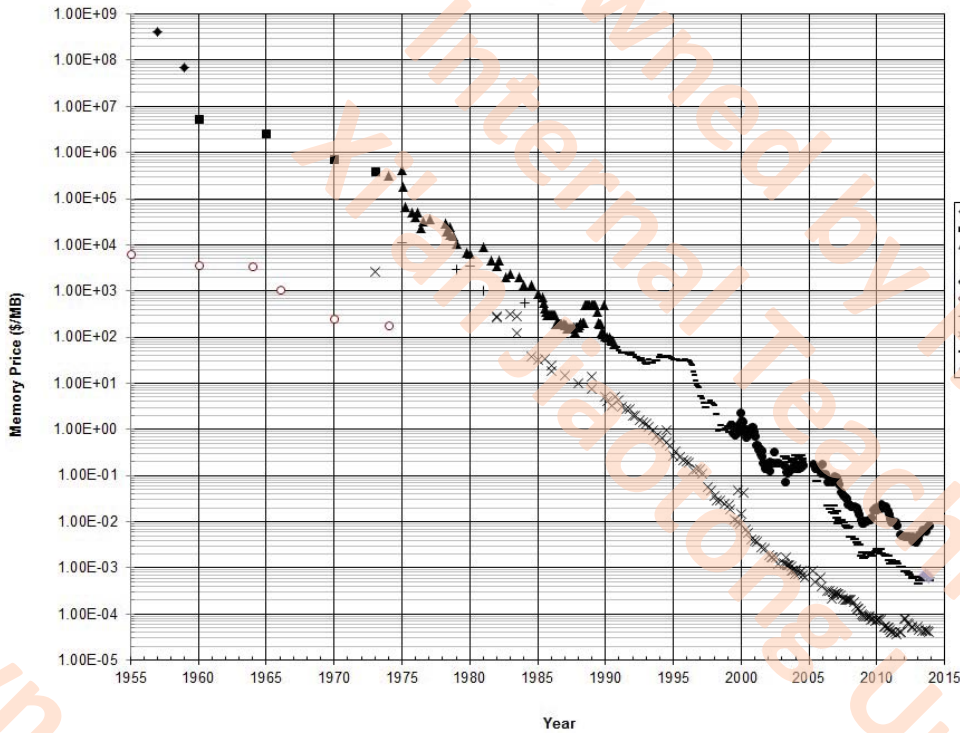


- “Cramming More Components onto Integrated Circuits”
 - Gordon Moore, Electronics, 1965
- # on transistors on cost-effective integrated circuit double every 18 months

18

存储器成本下降

Historical Cost of Computer Memory and Storage

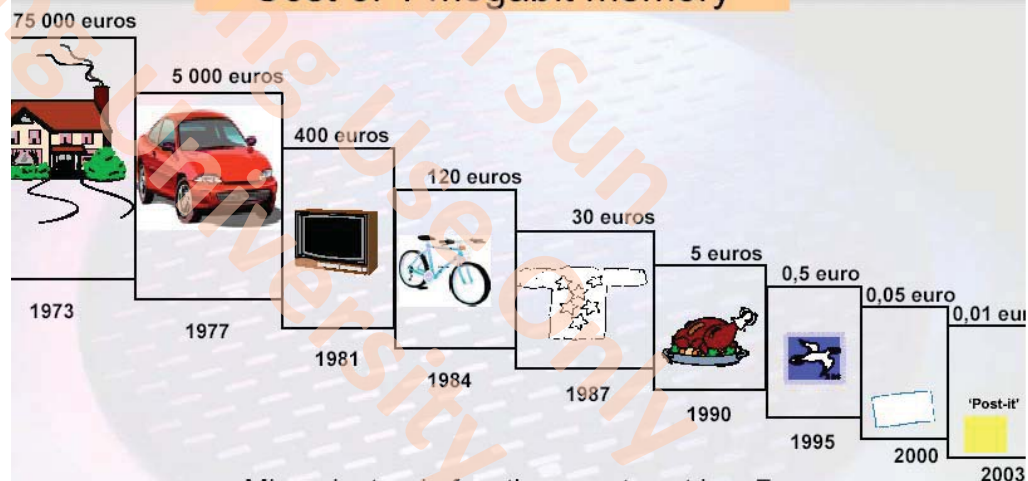


19

存储器成本下降

Moore's Law

Cost of 1 megabit memory



Microelectronic functions costs cut by ≈ 7 orders of magnitude over 30 years



当代计算机系统的分类

- 桌面计算机 **Desktop computer**
- 服务器 **Server**
- 嵌入式计算机 **Embedded computer**
- 仓库规模计算机 **Warehouse-scale computer**

21

1981年最高性能的便携计算机



- 4MHz Z80 Processor
- 64KB memory
- Floppy drives
- 5" screen
- 24.5 lbs
- \$1,795
- 11,000 units sold

22

1983年的移动电话



- Motorola DynaTAC
- \$3995
- 30 minutes talk time
- 10 hours charge time
- No texting or Bluetooth

23

30年后...



- MacBook Air
- 1.7GHz Processor
- 8GB memory
- 256GB storage
- 13" screen
- 2.96 lbs
- \$1,599

24

我们的手机...

- Samsung Galaxy S-II
- Android 2.3
- 4.3" screen
- 32GB memory
- Web, weather, Angry Birds
- ~1/20th the DynaTAC cost



25

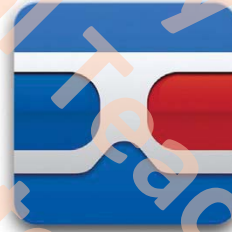
Warehouse-scale computer



Google在Oregon建设的data center，靠近Dalles水电站，耗资\$1.2 billion。其每天的发电量与日内瓦相当（2008）。

26

应用驱动计算

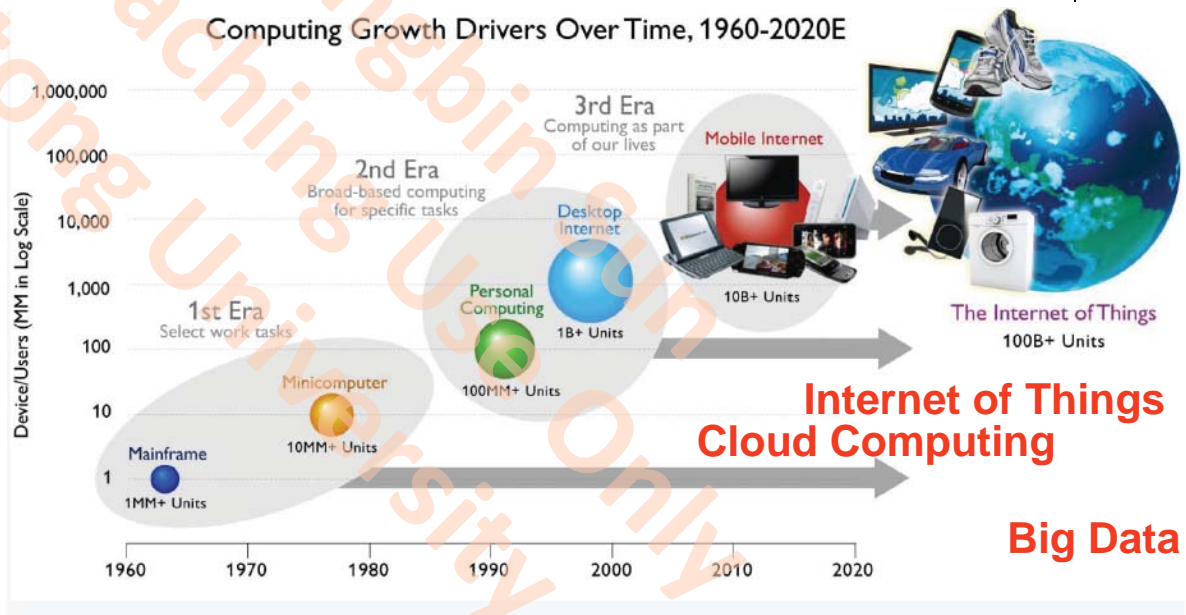


Google's
Goggles

The nature of applications also changed!

27

互连驱动计算



Source: Morgan Stanley, 2009

28



微处理器按字长分类

- 8位微处理器：8051单片机
- 16位微处理器：MSP430单片机
- 32位微处理器
 - 高性能微处理器，用于构建复杂电子系统，一般运行嵌入式操作系统。
 - ARM
 - MIPS
 - TI DSP

一辆宝马车中有超过**100**颗微处理器！

29



嵌入式计算系统的特点

- 功能复杂
 - 复杂的算法
 - 丰富的用户接口
- 截止时限问题（**deadline**）
 - 实时性
 - 多速率
- 成本控制
 - 制造成本
 - 功耗与能耗

嵌入式系统一般由小规模团队在有限的时间开发，便于软硬件的调试和修改。

嵌入式微处理器 PK ASIC&FPGA



- **ASIC**: 专用集成电路, 为特定用户或特定电子系统开发的集成电路。特点: **专用性**, **成本低**, **性能高**, **功耗低**, **可编程能力差**。
- **FPGA**: 现场可编程门阵列, 是一种半定制集成电路。特点: **一定的通用性**, **具备一定的可编程能力**, **功耗和成本适中**, **性能较高**。
- **微处理器**: 依靠指令级编程的通用处理器。特点: **通用性**, **可编程能力强**, **性能一般**, **功耗和成本较高**。

31

为何不使用PC?



- 物理空间限制
- 实时性能的需求
- 低功耗和低成本

● 移动终端

小米手机 2



32

软件物理 (Physics of Software)



- 嵌入式系统硬件提供计算和控制的基础平台，软件的性能和能耗也是非常重要的特性。
 - 软件的优化和效率决定系统的性能
 - 软件的优化和效率决定系统的成本
 - 软件的优化和效率决定系统的能耗
- 即使是软件工程师，也需要了解嵌入式硬件，这样才能编写高效的嵌入式软件。
- 软件的重要性！

33

嵌入式计算系统设计的挑战



- 需要多少硬件？
- 如何满足截止时间？
- 如何将系统的功耗减至最小？
- 如何设计以保证系统可升级？
- 它们是否能工作？
 - 测试复杂
 - 可视性和可控制性有限
 - 开发环境受限

34

电池容量挑战

- 在过去，电池供电量每年以约**10%或11%**的幅度增长；遗憾的是，它与摩尔定律很不匹配。
- 在未来，我们只能寄希望于新的硅合金或碳纳米管材料来保持**11%**的增长速度。



4.5 kCal
30g



255 kCal
49g

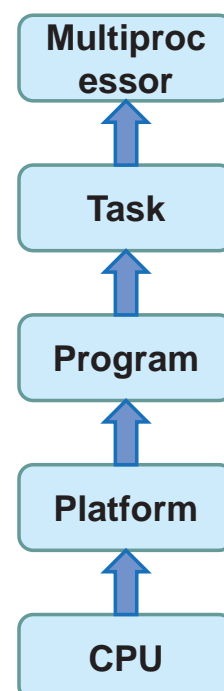
<35倍!!!

		2011	2020
Capacity x2.2 Capacity	Capacity	5,700	13,135
	Power Budget mW	475	1,059
	1-day life	159	365
		3-day life	

Assuming 12 hours of use per day

嵌入式计算的性能

- 通用计算对性能的概念比较模糊。
- 嵌入式计算必须满足截止时限(**Deadline**)，实时性是嵌入式计算的核心。
 - 需要工具
 - 需要遵循代码风格，利于分析

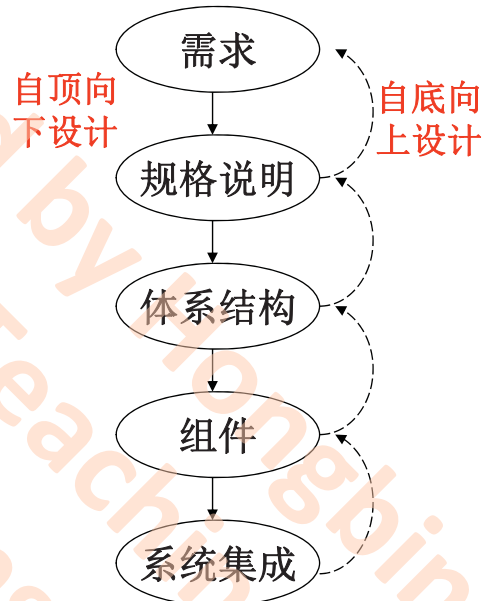


嵌入式系统的设计过程

- 设计方法学

- 使我们对所做的工作进度有清楚的了解
- 允许我们开发计算机辅助设计工具
- 方便设计团队中的成员之间相互交流

成本、性能、功耗



37

嵌入式系统的设计过程 – 需求

1. 需求

- 功能需求 **functional requirement**
- 非功能需求 **nonfunctional requirement**
 - 性能
 - 成本
 - 生产成本
 - 不可再生的工程成本 (**NRE, Non-Recurring Engineering**)
 - 物理尺寸和重量
 - 功耗

38



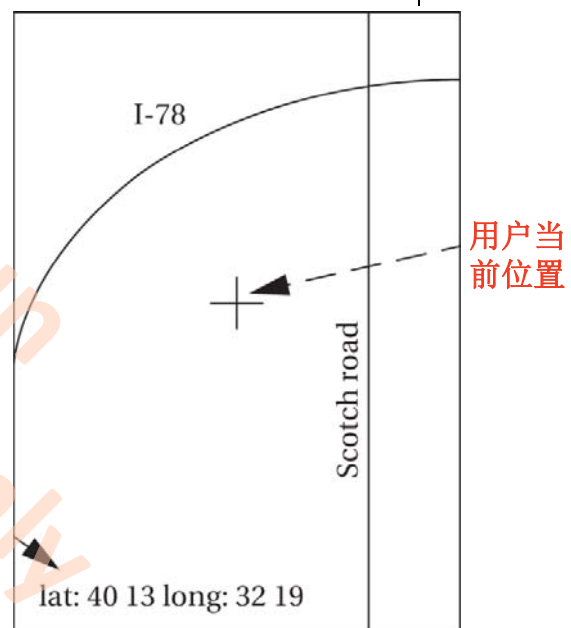
需求表格

名称
目的
输入
输出
功能
性能
生产成本
功耗
物理尺寸和重量

39

GPS移动地图系统的需求分析

- 功能性:
- 用户接口:
- 性能:
- 成本:
- 物理尺寸和重量:
- 功耗:



用户所在的经纬度位置

40



GPS移动地图的需求表格

名称	GPS移动地图
目的	为驾驶员提供的用户级移动地图
输入	一个电源按钮，两个控制按钮
输出	背光LCD显示器400x600
功能	使用5种接收器的GPS系统；三种用户可选分辨率；总是显示当前的经纬度
性能	移动时，0.25秒即可更新一次屏幕
生产成本	30美元（销售价四五倍于商品的成本）
功耗	100mW
物理尺寸和重量	不大于2英寸x16英寸，12盎司

41

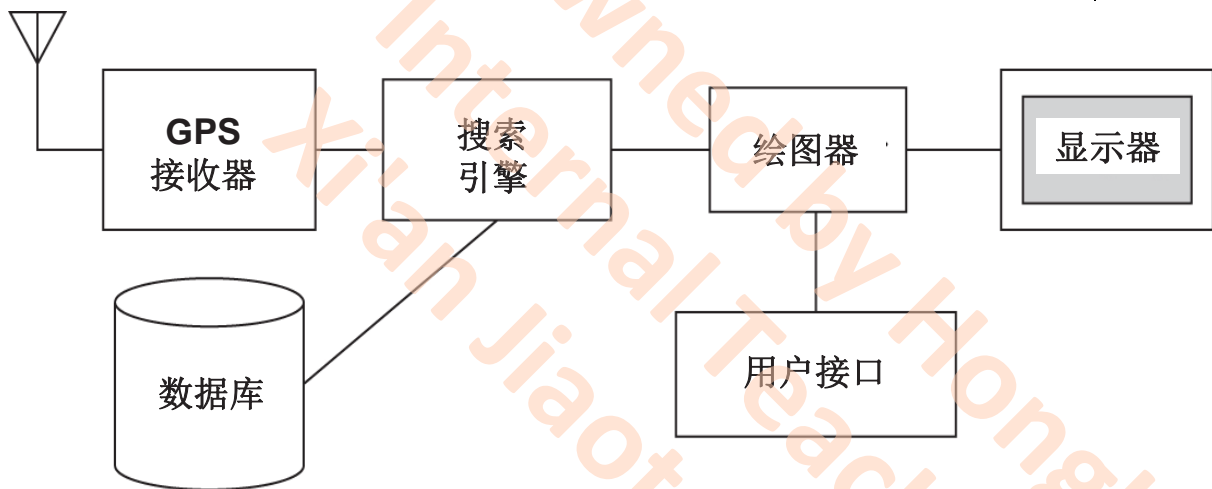
规格说明



- 规格说明必须小心编写，以便精确地反映客户的需求并且作为设计时必须明确遵循的要求。
- 规格说明应该足够清晰，以便别人可以验证它是否符合系统需求并且完全满足客户的期望。
- **GPS系统的规格说明：**
 - 从GPS卫星接收到的数据
 - 地图数据
 - 用户接口
 - 必须执行的满足客户需求的操作
 - 保持系统运行所需的后备处理，如操作GPS接收器

42

体系结构设计



43

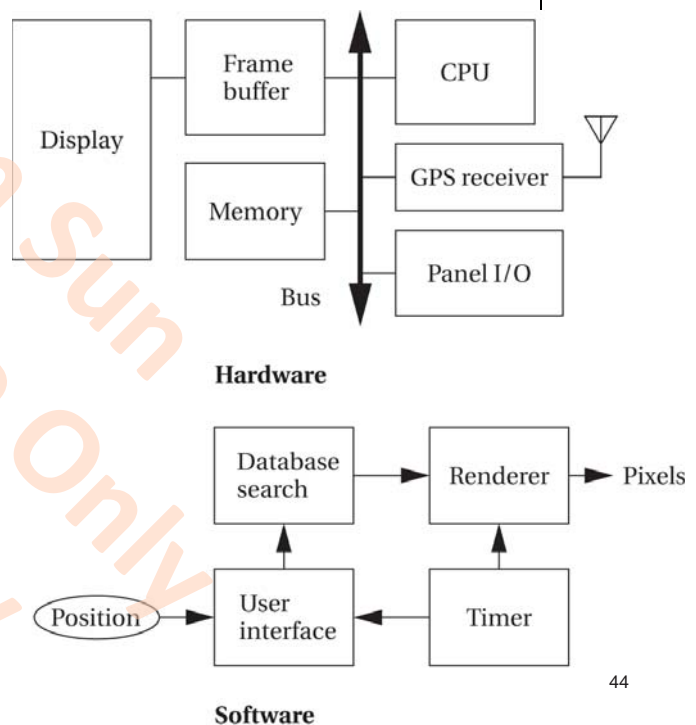
体系结构设计 – 硬件与软件

- 硬件组件

- CPU
- GPS接收器
- 存储器
- 显示屏
- 电路板设计

- 软件组件

- 地形数据库
- 嵌入式软件编程



44



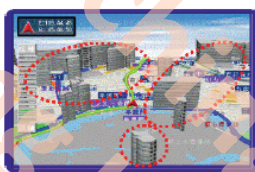
系统集成

- 系统集成过程中通常可以发现错误。
- 按阶段组装系统和相对独立地测试系统功能。
- 嵌入式系统使用的调试工具比在桌面系统中用到的工具有限得多。
- 确定系统为何不能正确的工作以及如何修复是一种**挑战**！

45

高端汽车导航系统 HITACHI

Navigation



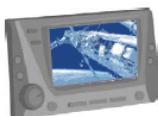
Driver friendly user interface and graphics

Safety

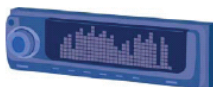


Object recognition
Passive/Active safety

Amusement



Digital TV display



Audio playback

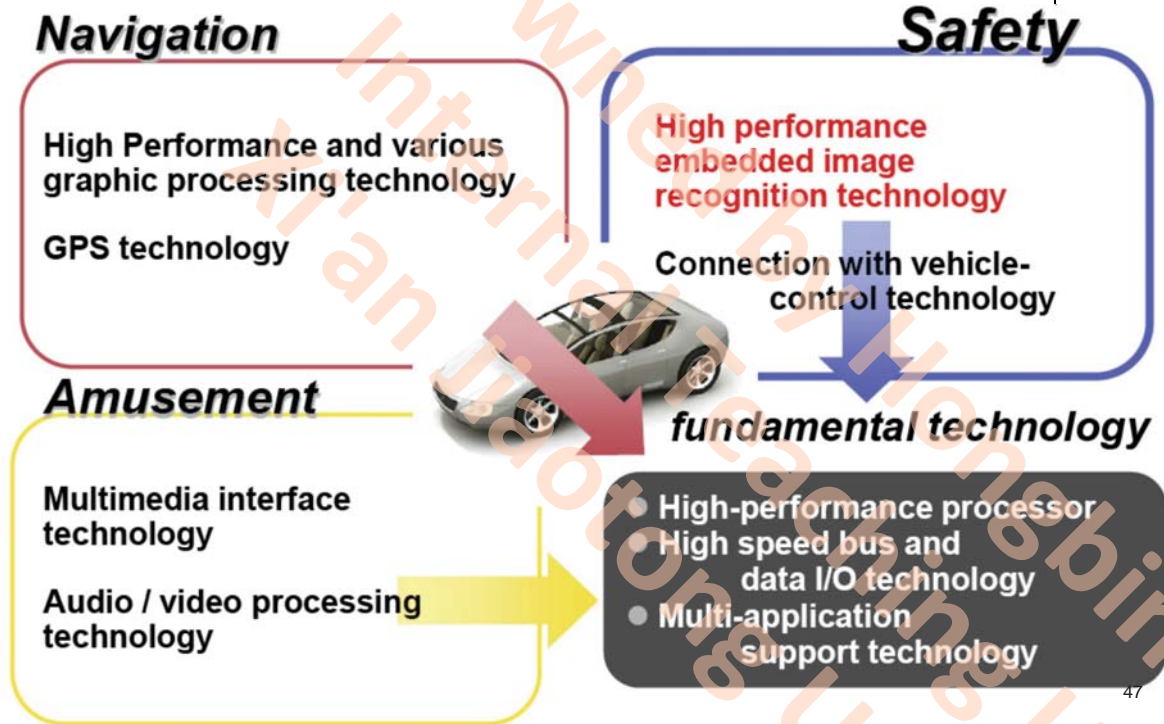


Advanced car navigation systems will supply multi applications assisting and entertaining our driving

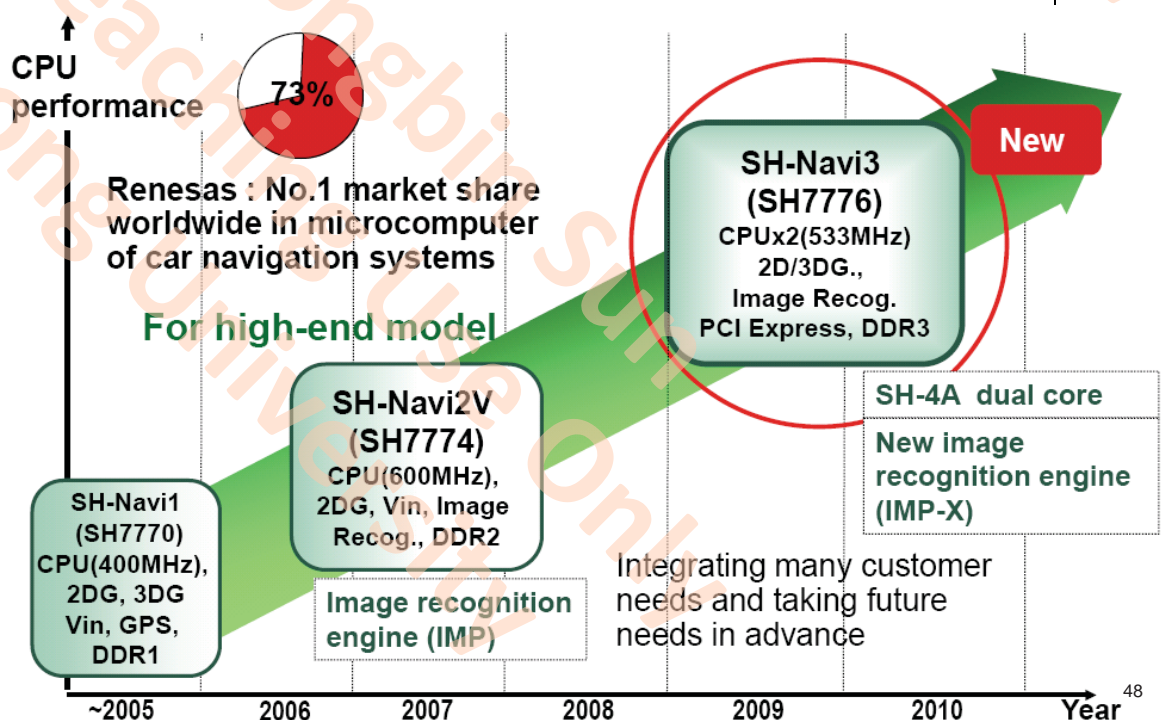


Integrated 1-Chip Solution⁴⁶

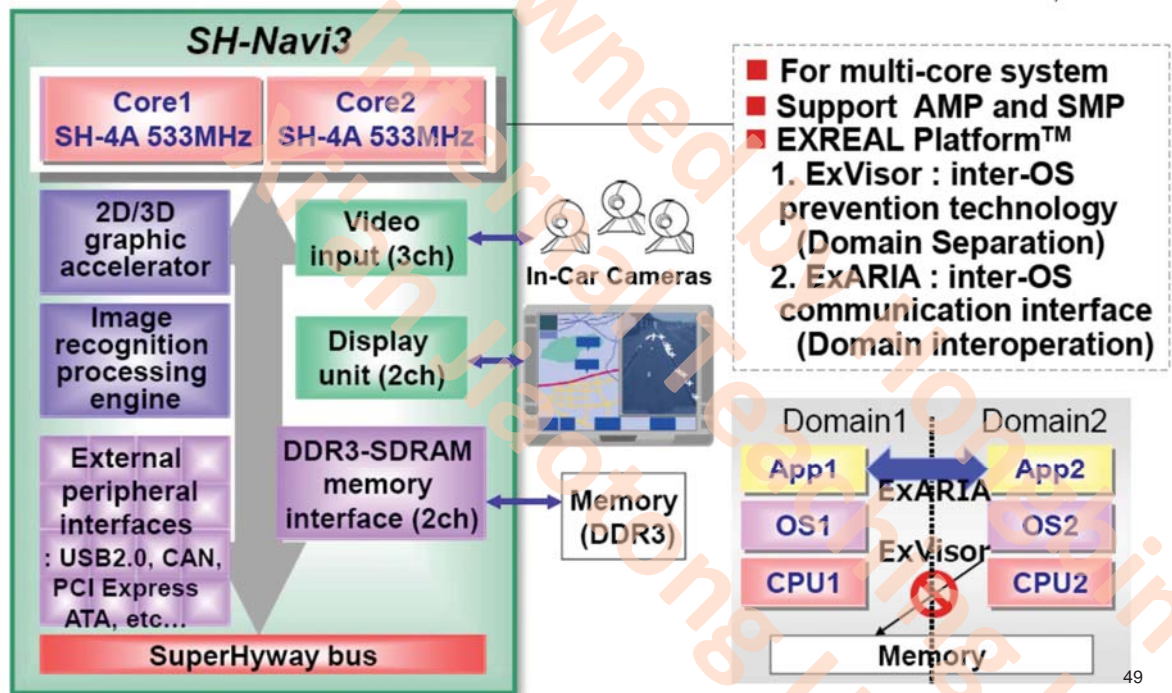
高端汽车导航系统需求分析



导航系统SoC芯片发展



导航SoC系统框图



图像识别处理的需求

Current demands

Object recognition for avoidance of traffic accident

- vehicle, pedestrian, traffic sign, lane, etc...



vehicle

pedestrian

Making more understandable images - parking assist etc...

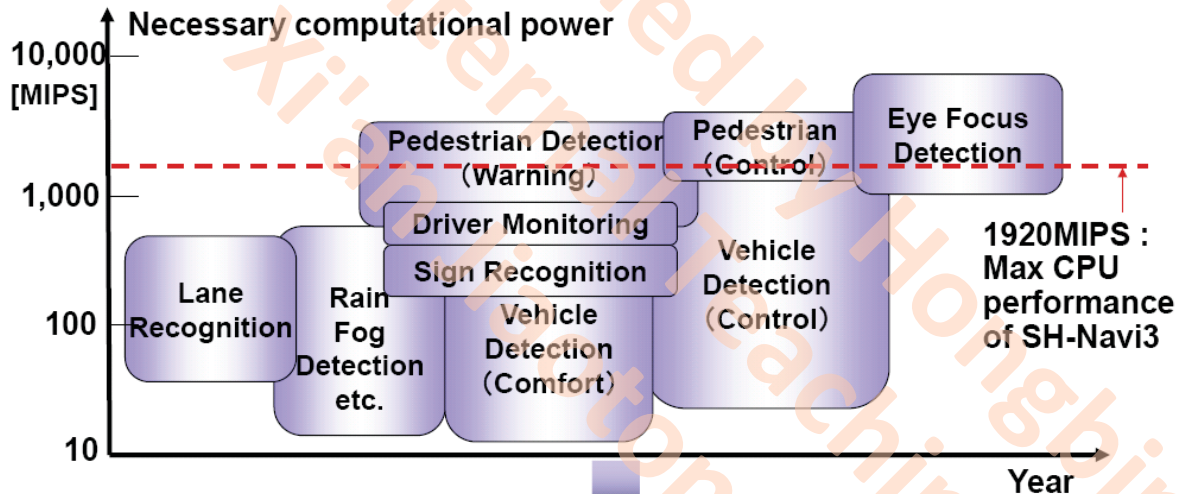


changing view point with distortion correction

These applications have to be processed in real-time

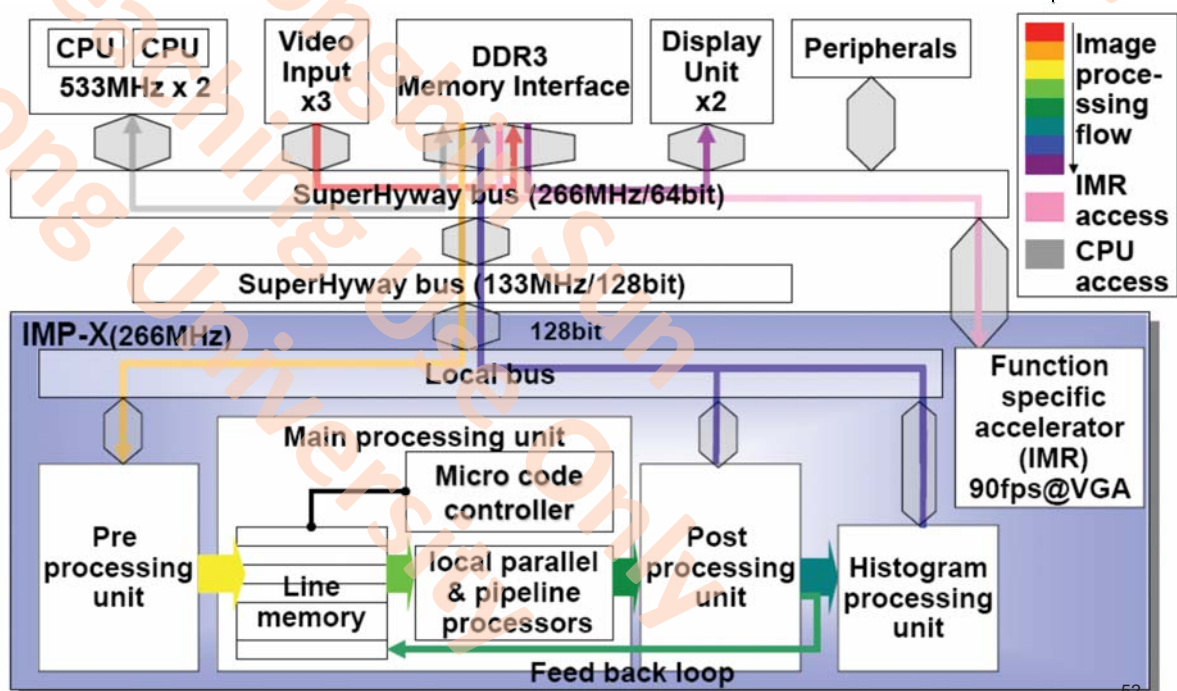
图像识别计算的功耗增长

- Real time application with image recognition consumes a lot of computational power



Solution : Embedded Image recognition accelerator (IMP-X)

图像识别处理的流程与框图





嵌入式系统设计方法

- 任何一个复杂的嵌入式系统都是按照严格的设计流程，经过无数设计细节而最终完成的。
- 不积跬步，无以至千里；
- 不积小流，无以成江河。