

数字逻辑设计

1.引言

张春慨

School of Computer Science

ckzhang@hit.edu.cn

目 录

- 数字电路
- 数字电路应用
- 课程概述
- 课程主要内容
- 课程考核办法

模拟量与数字量

- 自然界的物理量，按其变化规律可分为两类：

- 模拟量：数值和时间都可以连续取值
 - 数字量：时间上离散，值域内只能取某些特定值

Analog
模拟量

声音
压力
速度
气味
温度
电压值
流量

Digital
数字量

人数
模拟量的数字形式
语言和文字
编码

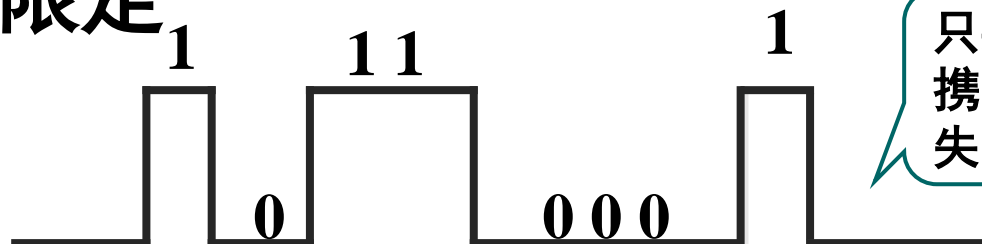
模拟与数字(Analog versus Digital)

- 模拟信号：数值的变化在时间上是连续的，在一定范围可取任意值

信息由幅值（频率、相位等）携带，处理时须保持其波形精确不变，易失真

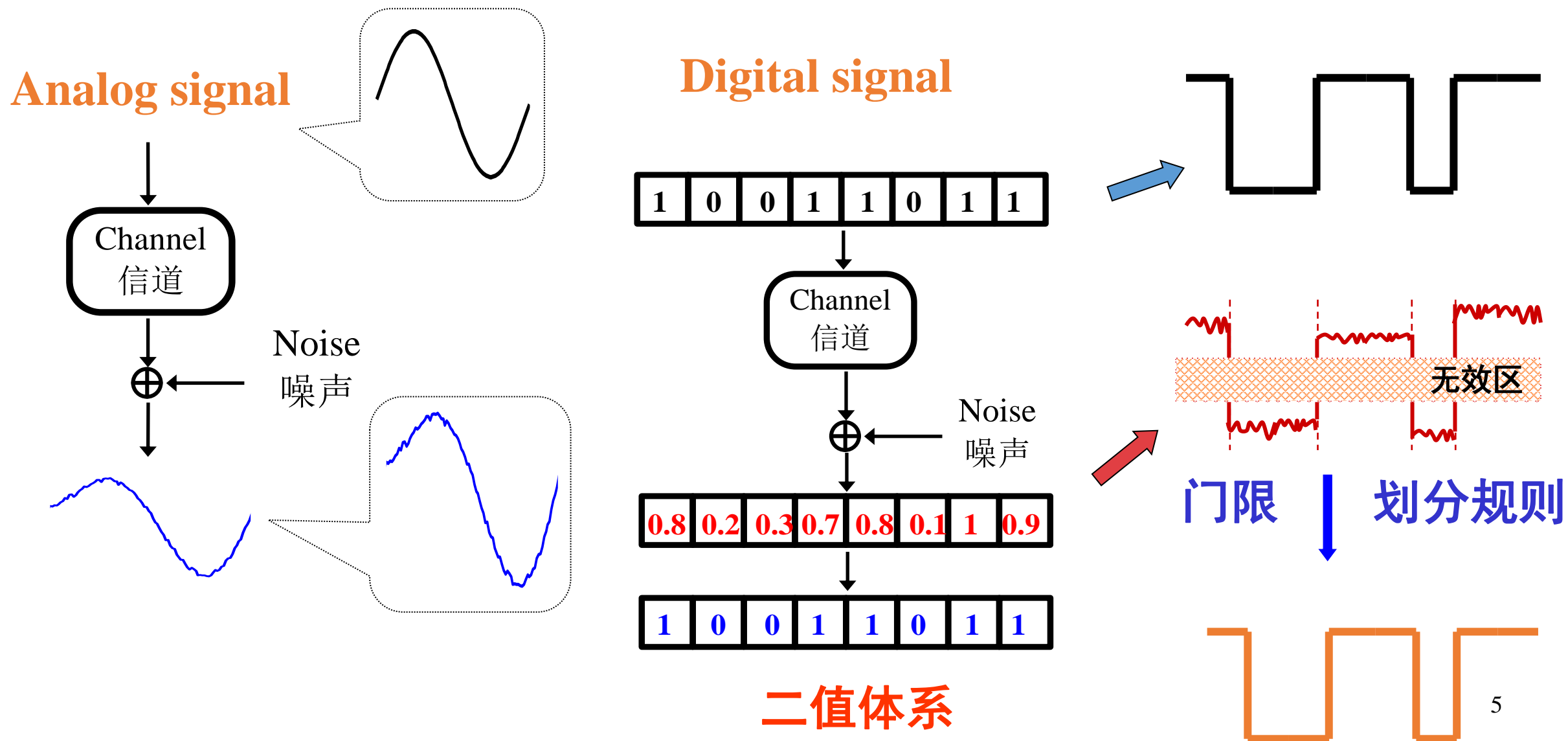


- 数字信号：数值的变化在时间上是不连续的，取值有限定



只要幅值高低不混淆，携带的信息就不会丢失，所以可靠稳定

模拟与数字(Analog versus Digital)



数字电路和模拟电路的分析方法

模拟电路

微变等效电路
——电路分析

数字电路

逻辑分析方法
数学工具：

布尔代数（开关代数）

描述方法：

真值表

表达式

功能表等

问题：为何使用二进制？

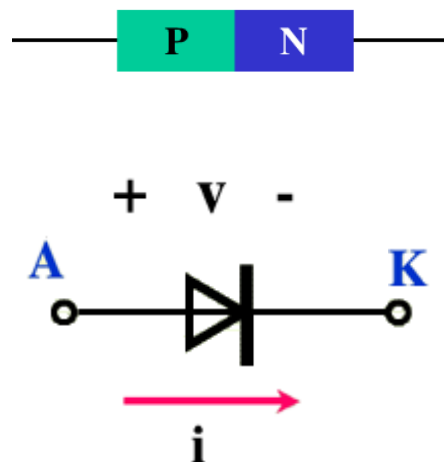
- 电路简单
- 对电器元件要求不高
- 可靠稳定
- 精确
- 易于存储
- 方便计算机处理

开关器件

数字系统使用的是具有两种状态的开关器件

- 如：二极管、三极管

二极管由PN结组成，具有单向导电性



$$V \geq V_{ON}$$

二极管导通

$$V < V_{ON}$$

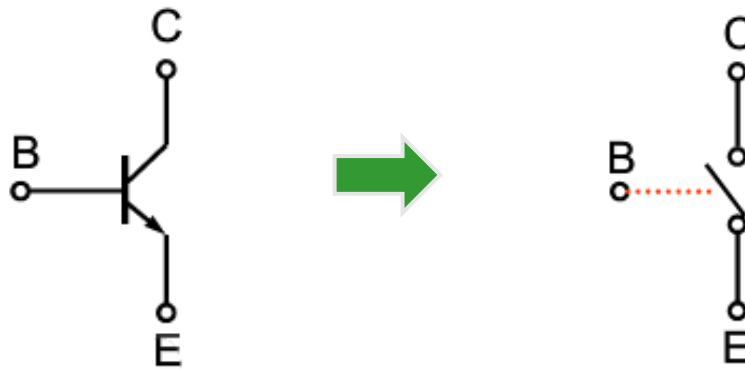
二极管截止



开关器件

三极管

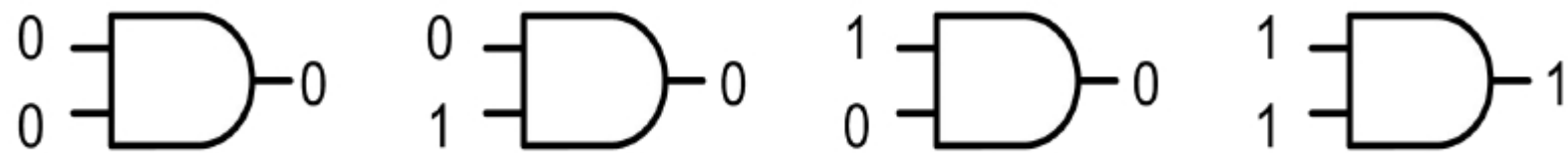
- 利用三极管的**饱和、截止**状态作开关
- 三极管开关的**通、断**受基极b的电位高低控制



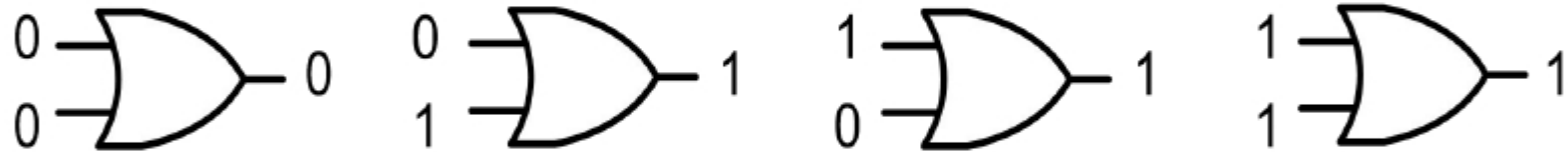
由于大多数开关器件只能取两个不同的值，
所以数字系统内部使用二进制也就很自然了。

逻辑电路和门电路

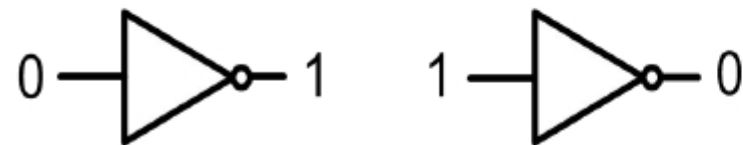
(a) AND Gate



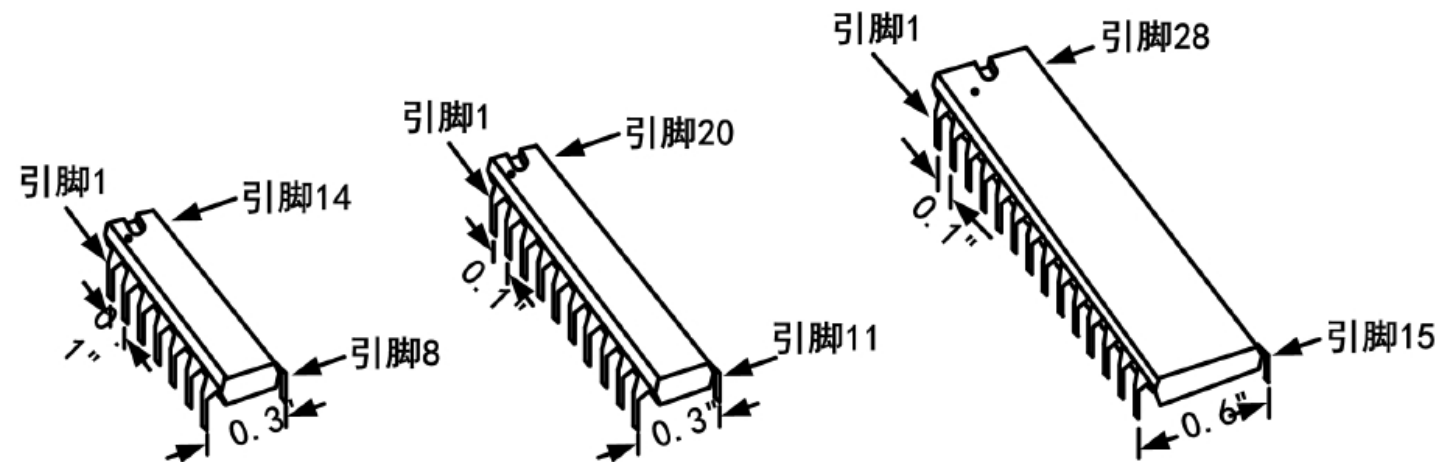
(b) OR Gate



(c) NOT Gate/
Inverter



双列直插式封装DIP
(Dual Inline-pin Package)



可编程逻辑器件

- 可编程阵列逻辑(PAL, Programmable Array Logic)
- 可编程逻辑器件(PLD, Programmable Logic Device)
- 复杂可编程逻辑器件(CPLD, Complex PLD)
- 现场可编程门阵列(FPGA, Field-Programmable Gate Array)

数字系统的优点

- 表征数学量精度高、范围大

- 稳定性好，可靠性高

- 易于设计

- 可编程性

- 快速，低功耗

- 批量生产，低成本

Tape 磁带



VS



CD 光盘

● **Life 寿命:**

10 years

VS

50 years

● **Tone 音质:**

Noise 噪声

VS

Hi-Fi 高保真



单片机

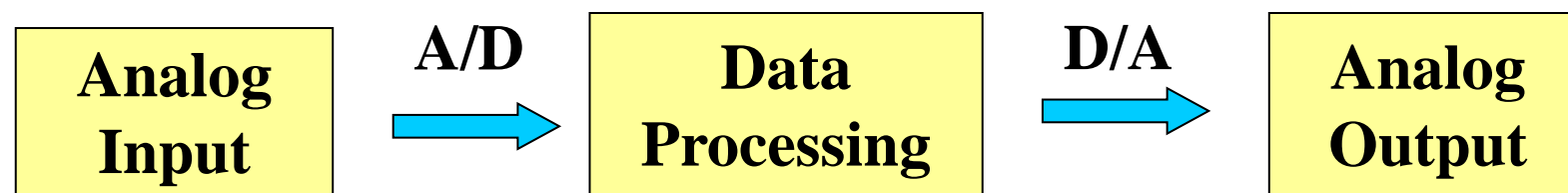


**现场可编程门阵列
FPGA**

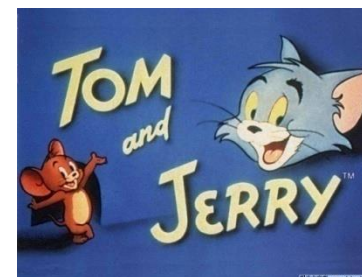
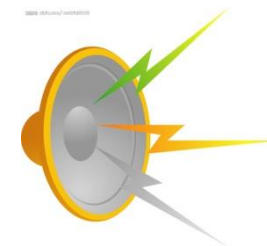


Laptop

数字系统不能完全替代模拟信号

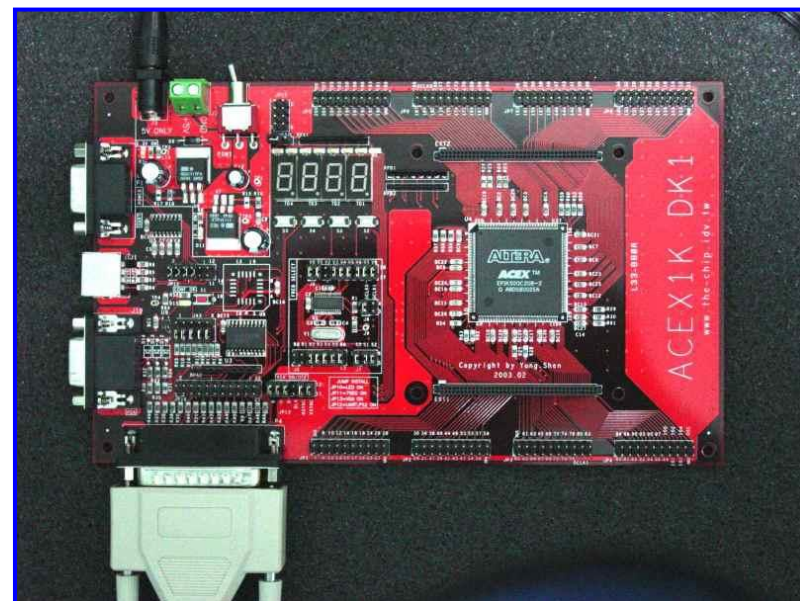
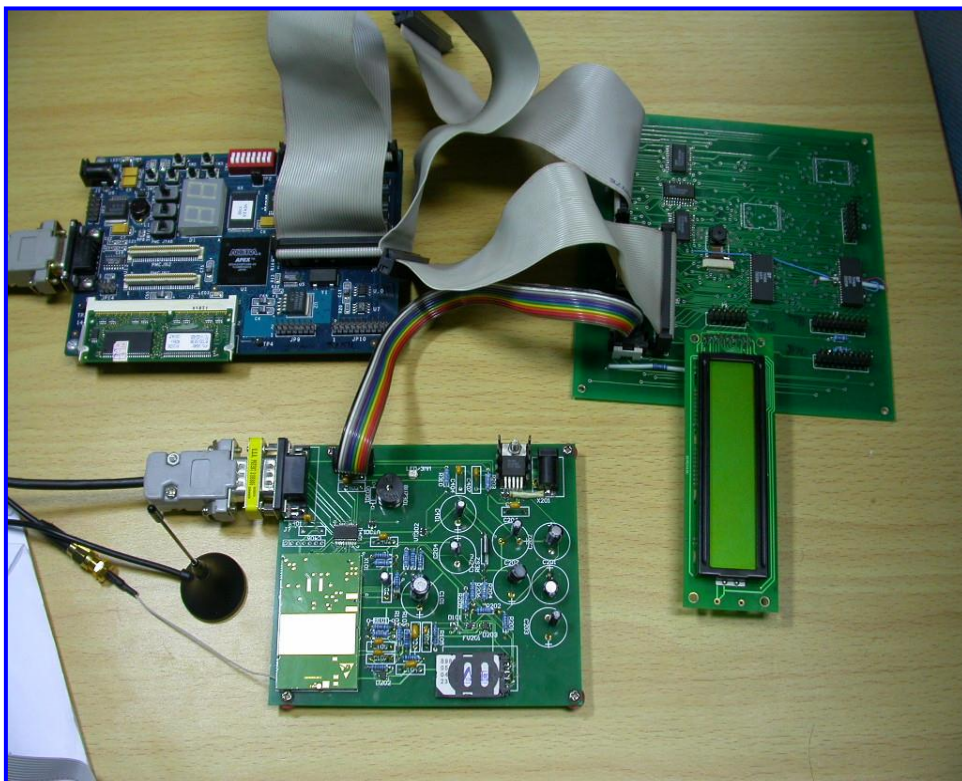


声音、影像的
录制和播放是
模拟信号

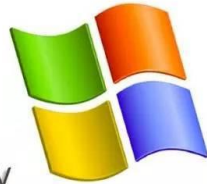


摸得着、瞧得见、实实在在的真家伙

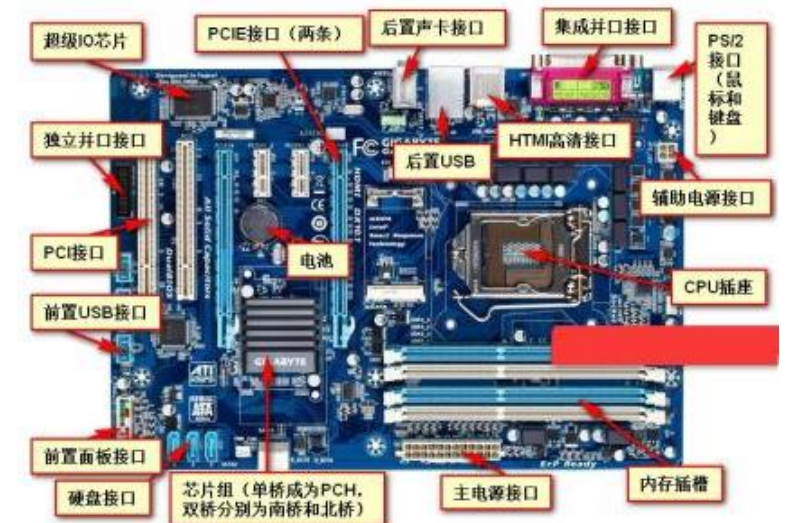
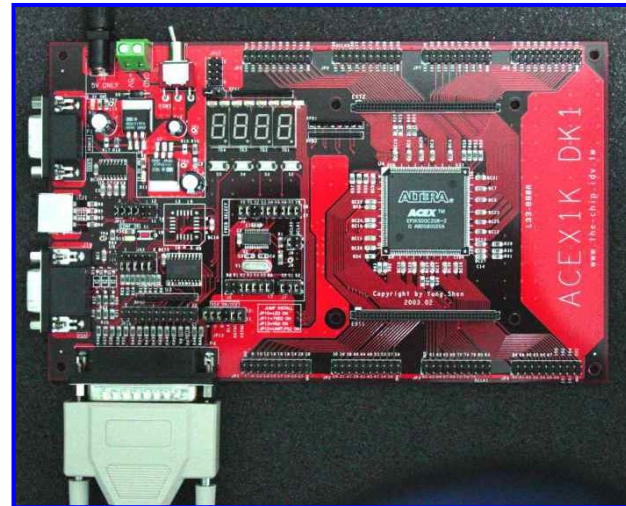
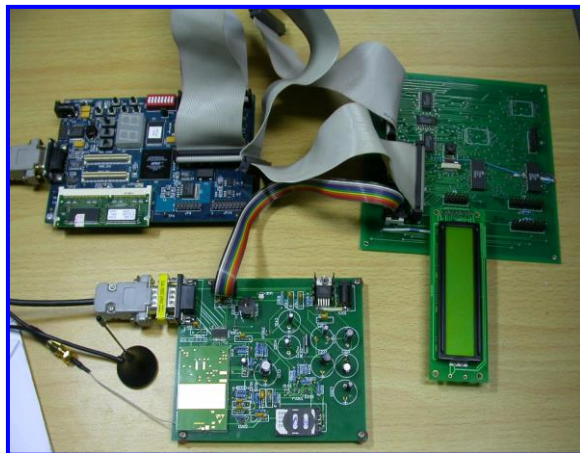
—— 硬件



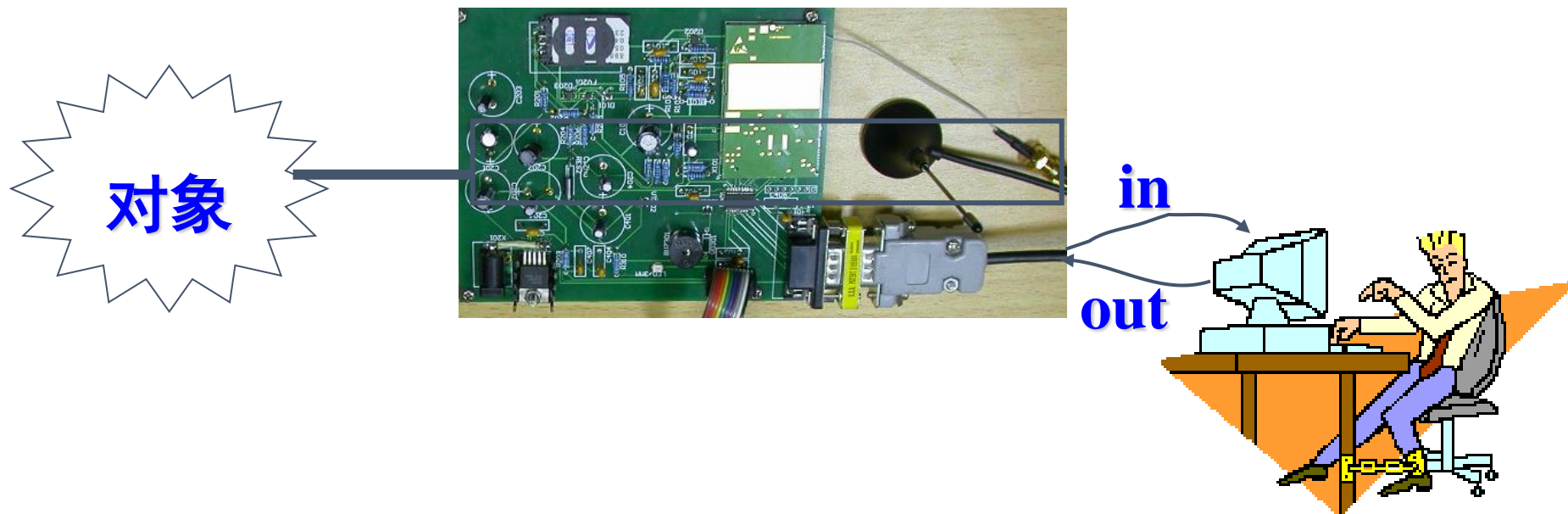
软件 vs. 硬件



WPS 2019



软件能力+硬件能力=双腿走路



“在异构计算的时代程序员必须对于算法和硬件模型融汇贯通，才能写出高质量的代码。因此，未来的程序员也必须懂硬件！”

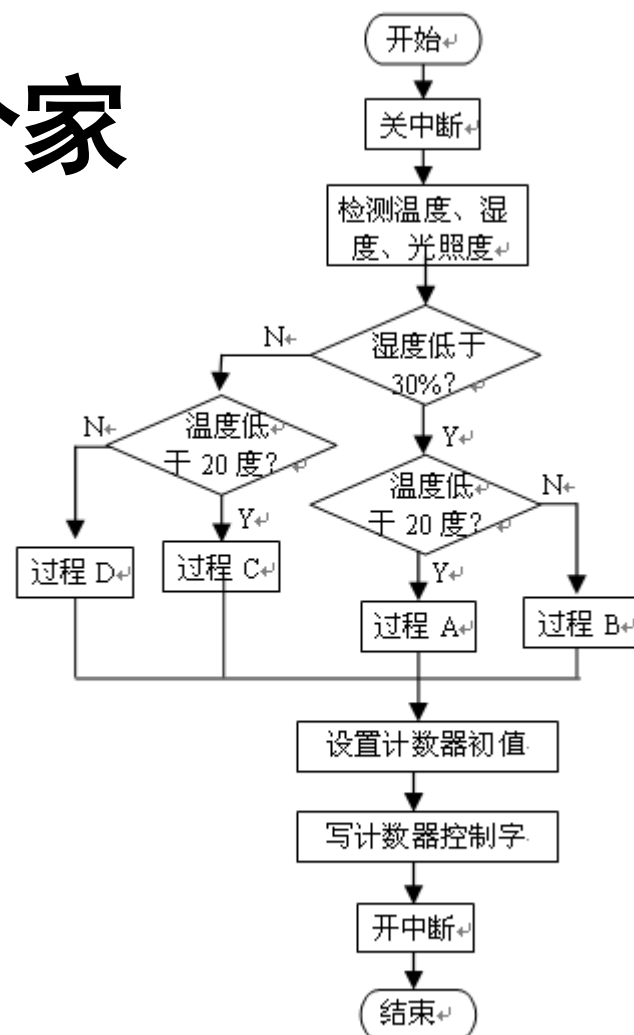
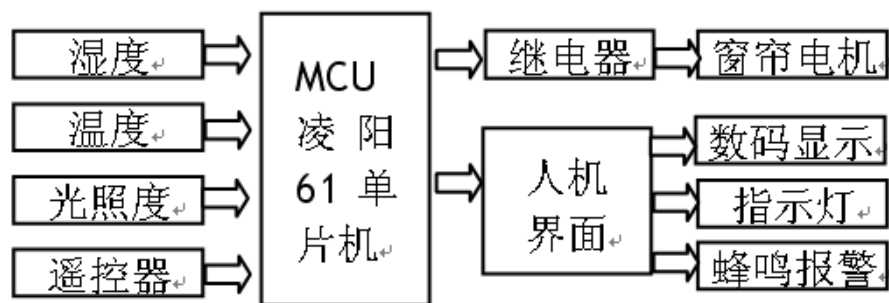
——图灵奖得主David Patterson



硬件设计——

软、硬件设计不分家

例：单片机

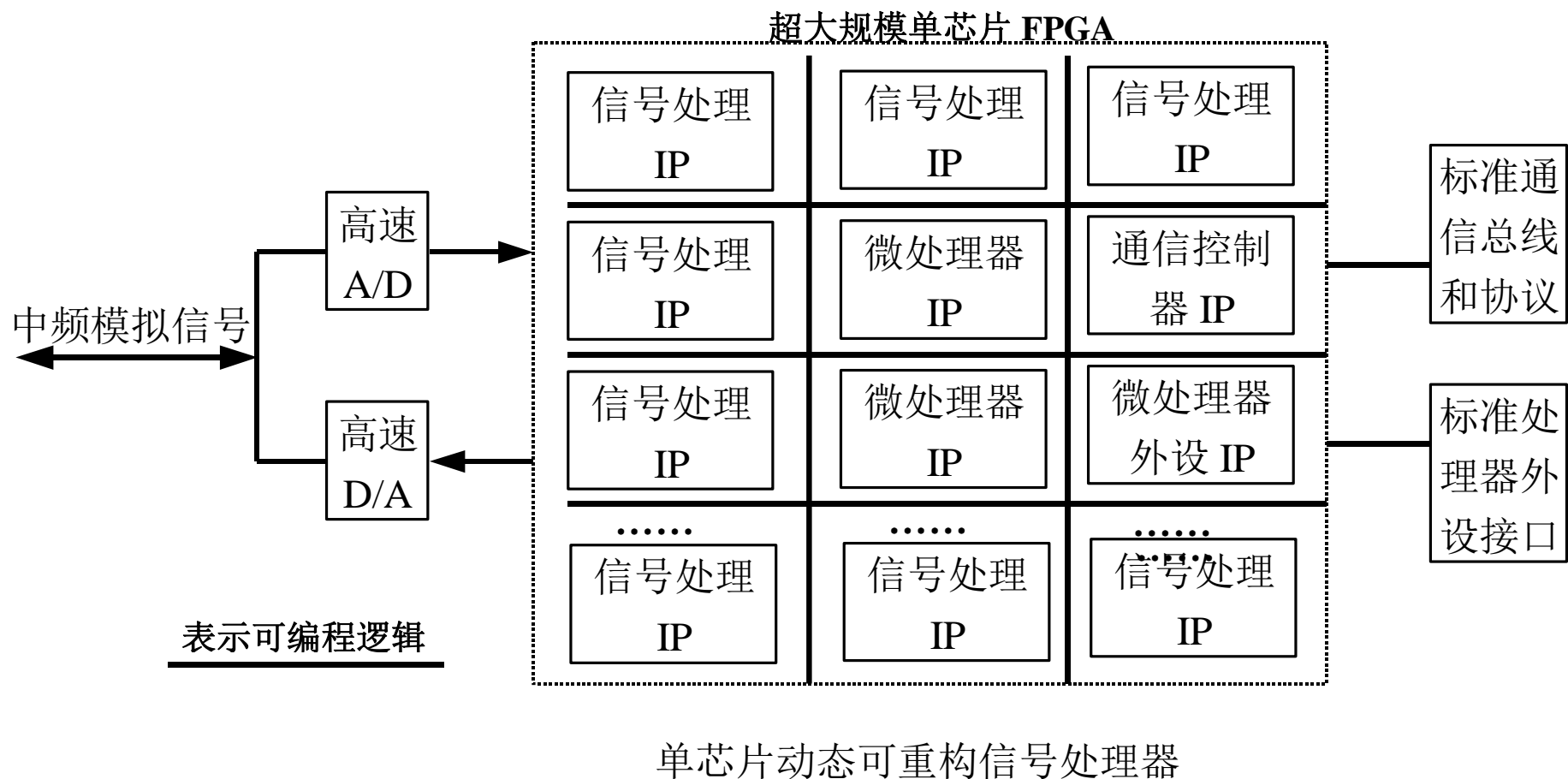


IRQ1 定时器中断流程图



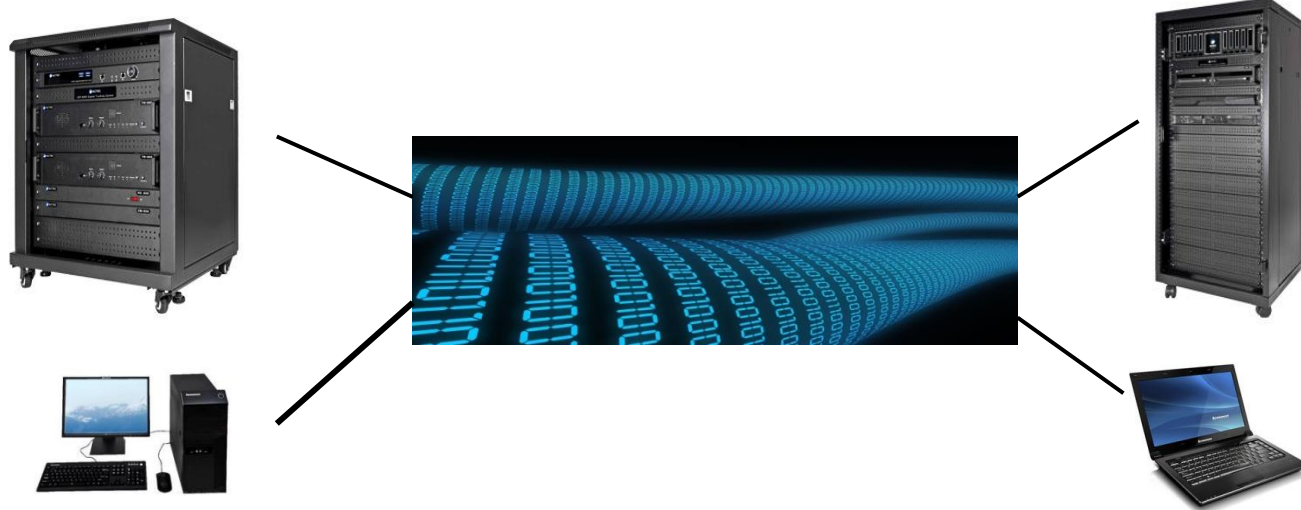
软、硬件设计不分家

例：FPGA



数字电路的应用

👉 数字通讯——利用0和1编成各种代码，
分别代表不同的含义，
用以实现信息传送



数字电路的应用

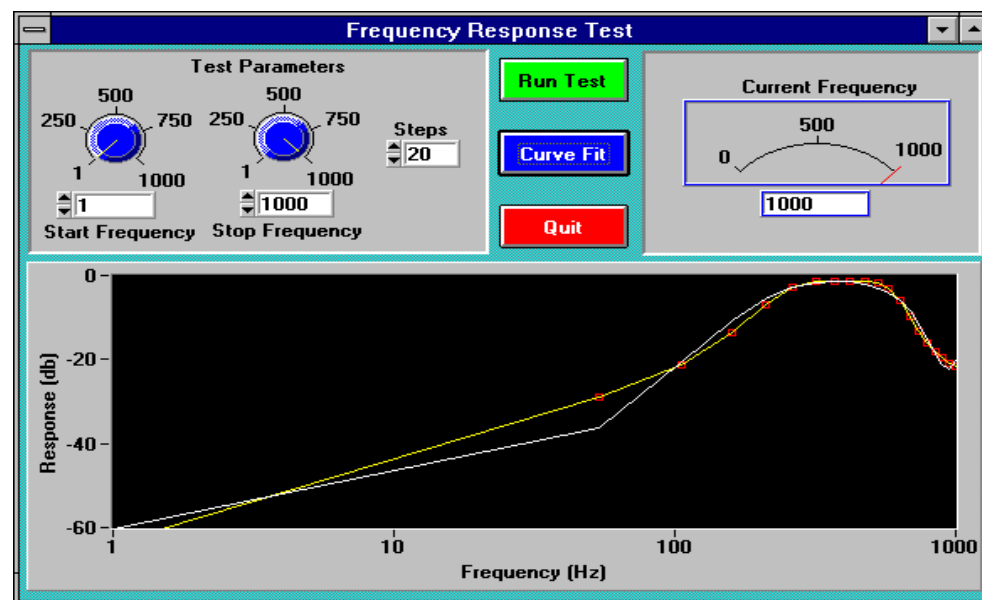
👉 **数字控制**——利用数字电路逻辑功能，设计出各种控制装置，实现对生产过程等的自动控制



数字电路的应用



数字测量——显示十进制数、对测量结果进行分析处理



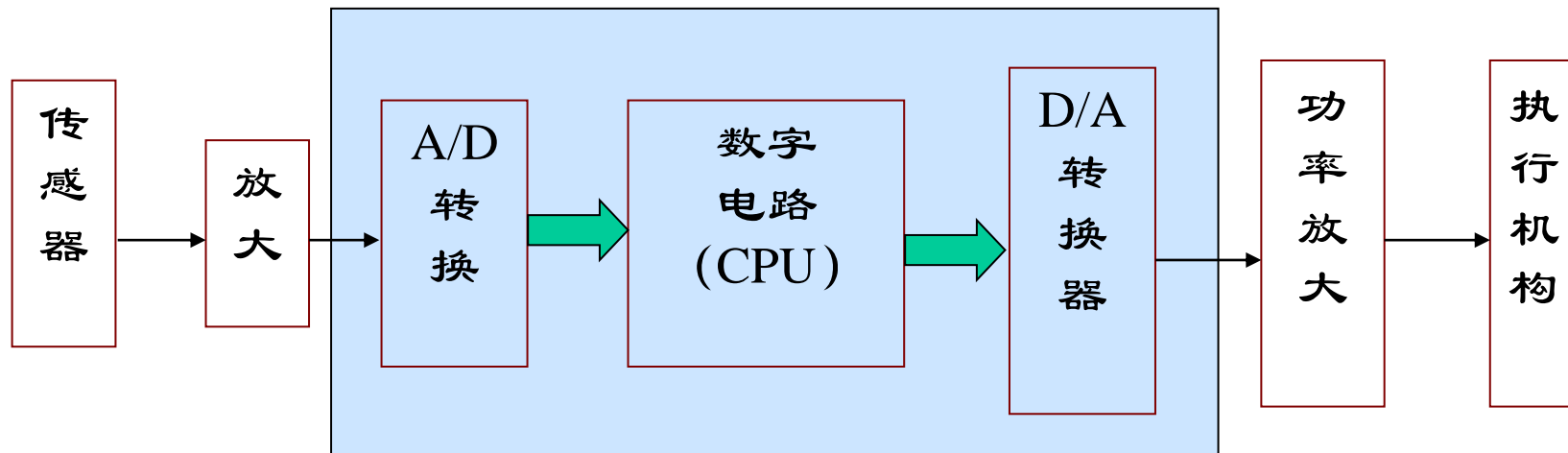
数字电路的应用

- 数字通讯、数字控制、数字测量……
- 从天上到陆地，从陆地到海洋……
- 大到卫星、飞船，小到玩具、手表……

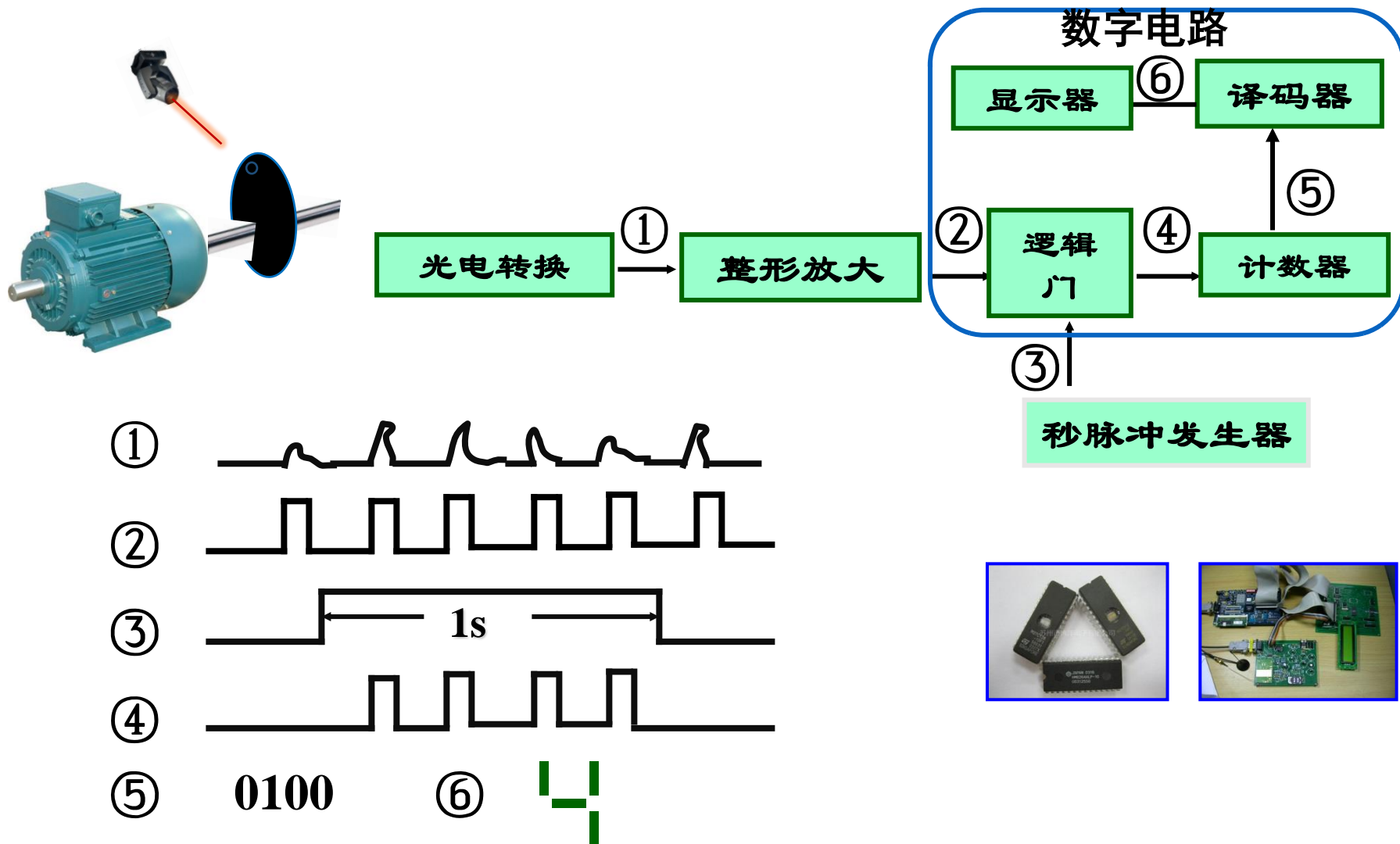


数字系统的应用——信号处理

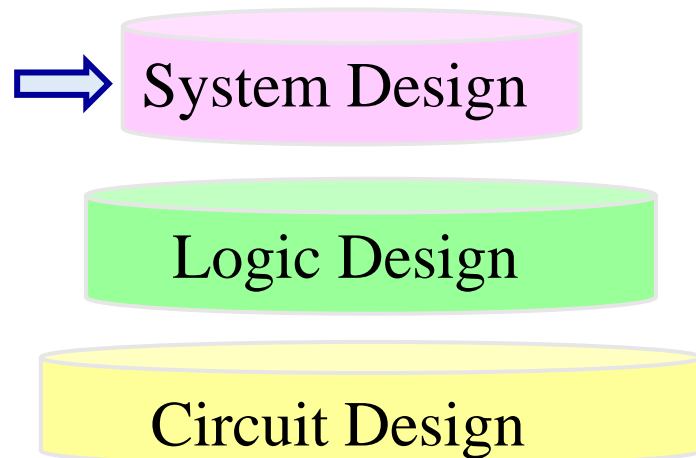
- 与软件结合可以完成复杂的运算和处理过程
- 同样功能的电路若用模拟电路实现，其复杂程度将大大增加，甚至无法实现。



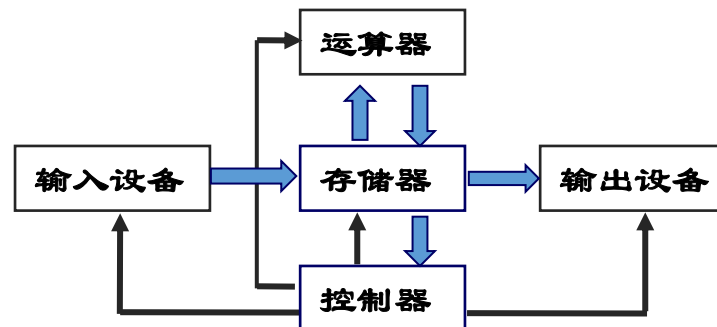
数字设计实例



数字系统的设计



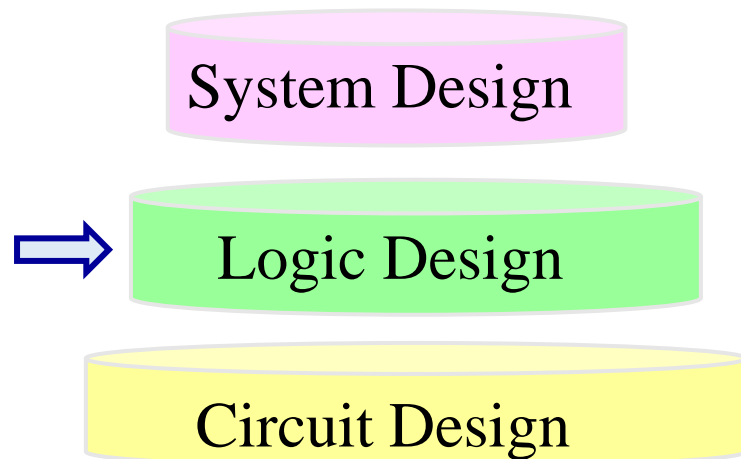
- 划分成子系统
- 确定各子系统特性



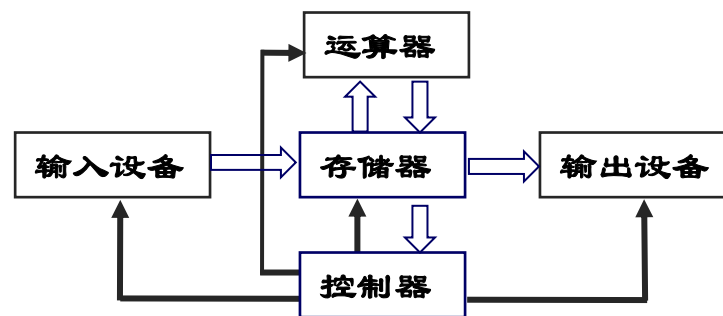
例如：计算机的系统设计

- 存储单元，运算单元，输入输出设备…….
- 各个子系统之间的互连及控制

数字系统的设计——续

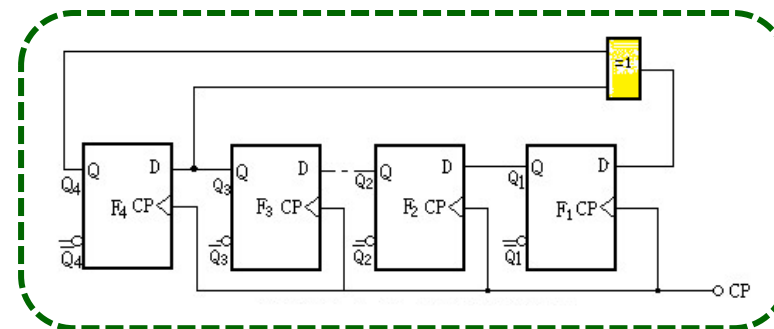


- 实现各子系统的逻辑功能
- 将各个功能模块互连



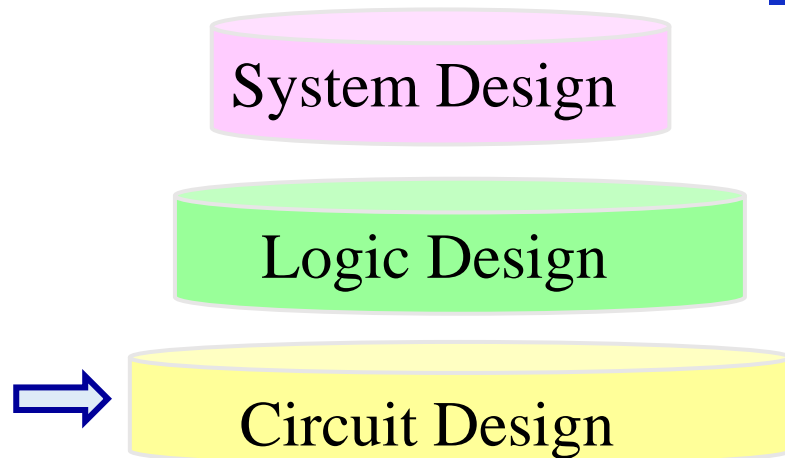
例如：寄存器设计

- 如何用逻辑门和触发器设计实现？



数字系统的设计——续

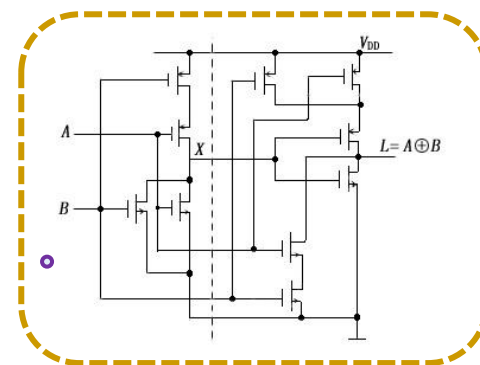
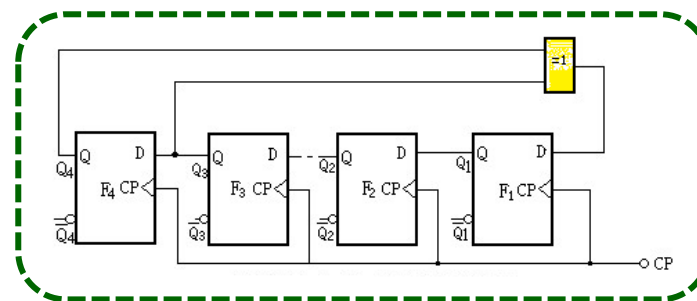
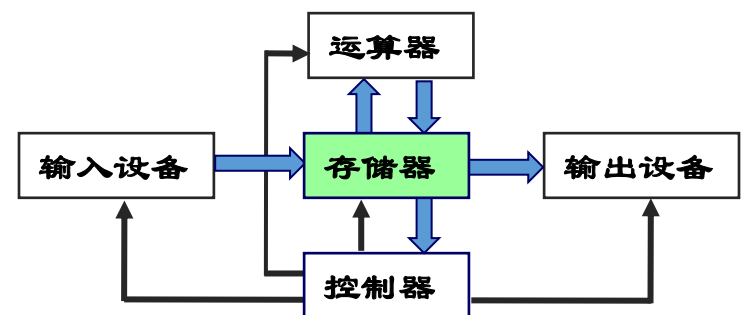
■ 确定特定逻辑器件的实现和连接



例如：逻辑门、触发器设计

- 二极管、三极管、电阻……
- 各逻辑器件的互连

已封装在芯片中



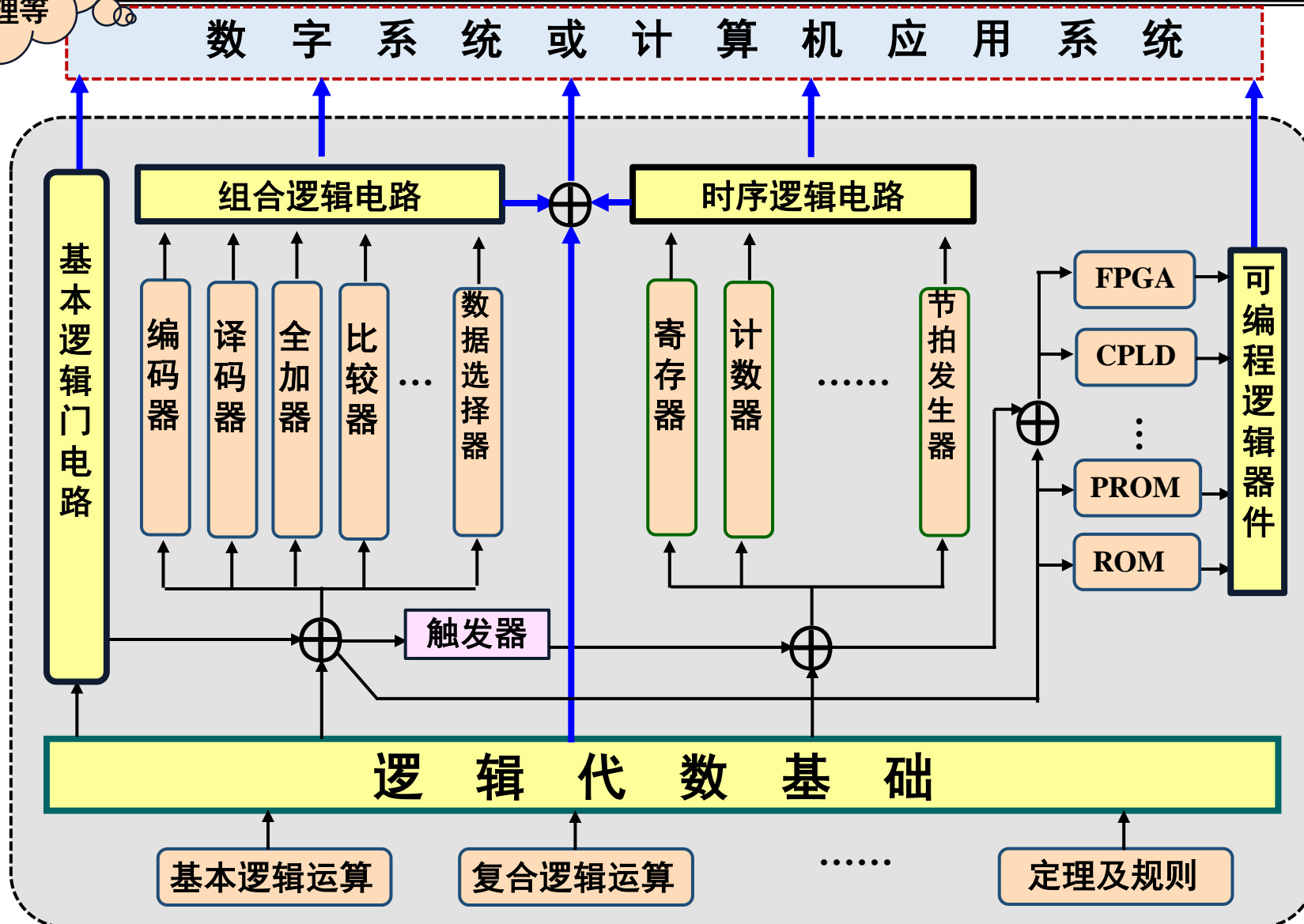
数字设计层次

- 器件物理层(**Device Physics Level**)
- IC 制造过程级 (**IC Manufacturing Process Level**)
- 晶体管级 (**Transistor Level**)
- 门电路结构级(**Gates Structure Level**) .
- 整体系统设计 (**Overall System Design**)

数字逻辑的知识脉络

后续课程：
如计算机组成原理等

本课程的内容



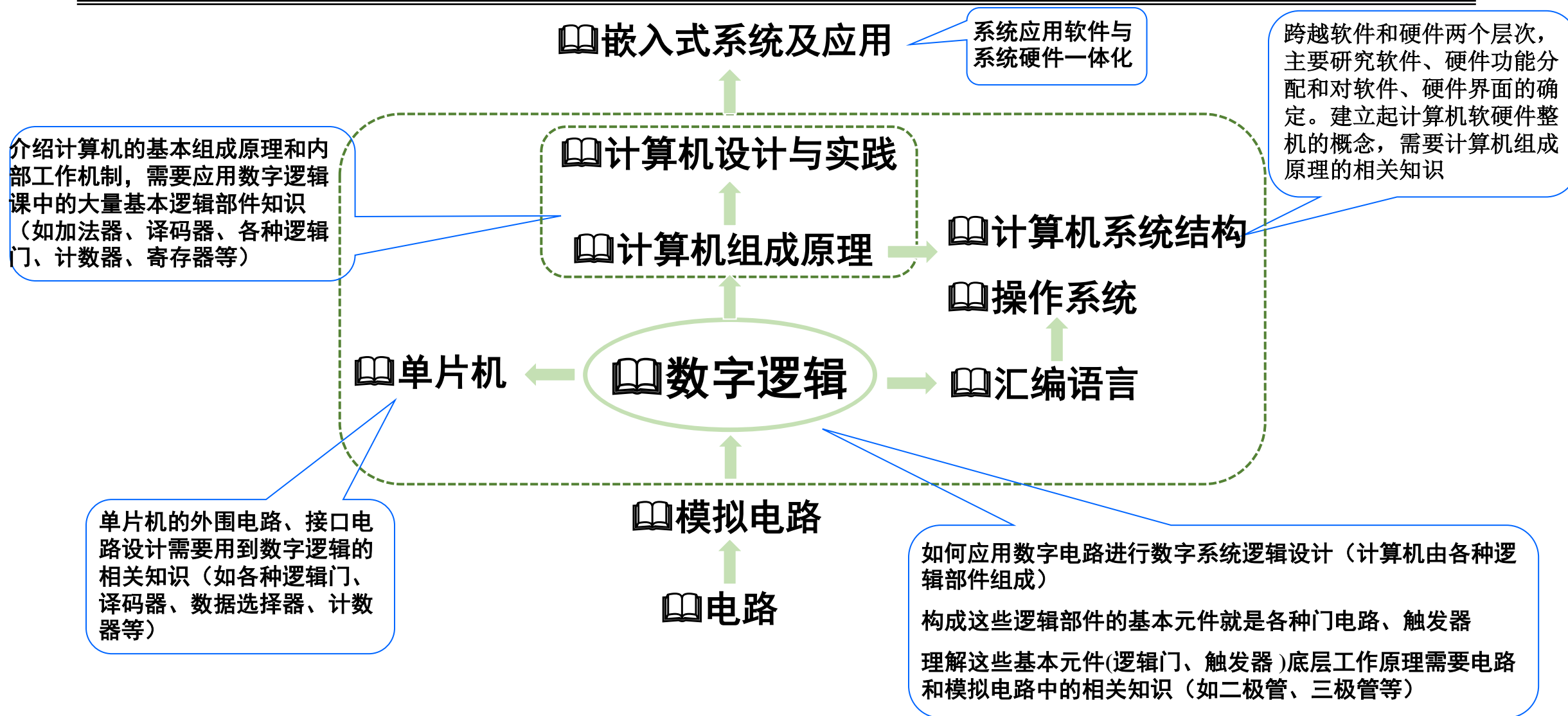
课程内容

- 绪论
- 布尔代数
- 组合电路分析及设计
- 时序电路分析及设计
- 硬件描述语言

课程目标

- 掌握逻辑代数基础，具有利用逻辑代数原理及基本逻辑门构造典型逻辑组合部件的能力
- 掌握组合逻辑电路的分析方法及设计方法，具有利用基本逻辑部件及中规模芯片构造组合逻辑电路的能力；
- 掌握时序逻辑电路的分析方法及设计方法，具有利用触发器、逻辑门、基本逻辑部件构造时序逻辑电路的能力；
- 了解可编程逻辑器件的基本工作原理，具有利用可编程逻辑器件设计逻辑电路的能力；
- 培养自主学习的能力，通过查阅器件资料及参考文献，能利用各种基本逻辑部件、中规模芯片及可编程逻辑器件设计一个较为复杂的完整的数字系统。

与其他课程之间的关系



学习方法建议

- 熟练使用布尔代数
- 注重外部特性、注重应用
- 实践出真知：Logisim, Verilog...

数字逻辑设计课程学习指南

此知识库为**测试用**，有些信息链接可能有误，敬请谅解。
有何建议，请在下方留言。

课前热身

- [天才乔治布尔的纪录片](#)（可以暑假看）
- • [科普视频——计算机科学速成课](#)
- • 阅读 [编码-隐匿在计算机软硬件背后的语言](#) 第10章“逻辑与开关”
- [信息论之父香农的纪录片](#)（可选，闲暇时看看）
- • [布尔代数_百度百科 \(baidu.com\)](#)（浏览即可，不用逐字逐句读懂）

课件

教材及参考书

- 数字设计原理与实践(第5版), John F. Wakerly著, 林生等译. 机械工业出版社
- 逻辑设计基础(第7版), Charles Roth [著] 解晓萌等译. 清华大学出版社
- 搭建你的数字积木——数字电路与逻辑设计 (Verilog HDL&Vivado版) . 汤勇明、张圣清等著. 清华大学出版社.
- 数字逻辑实用教程. 王玉龙. 清华大学出版社

考核方法

讲课 —— 44 学时

实验 —— 20 学时

总计 64 学时

成绩 { **考 试：60%**
作 业：20%
实 验：20%