

数字逻辑设计

高翠芸

gaocuiyun@hit.edu.cn

< 群聊二维码



23秋数字逻辑设计...



点击卡片更换背景

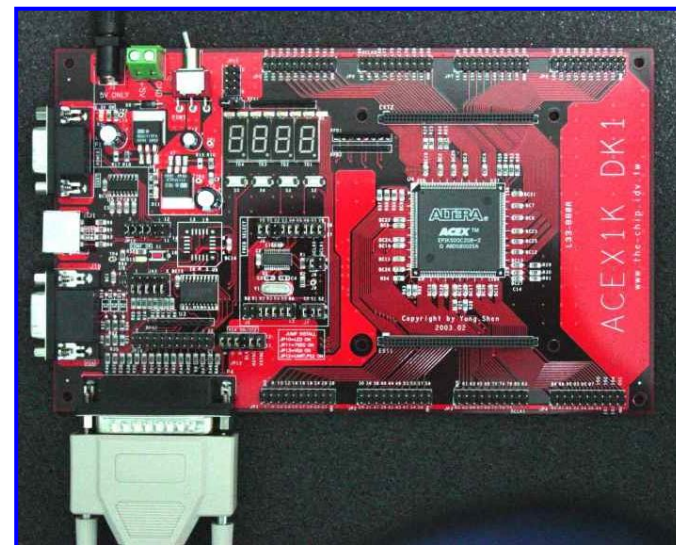
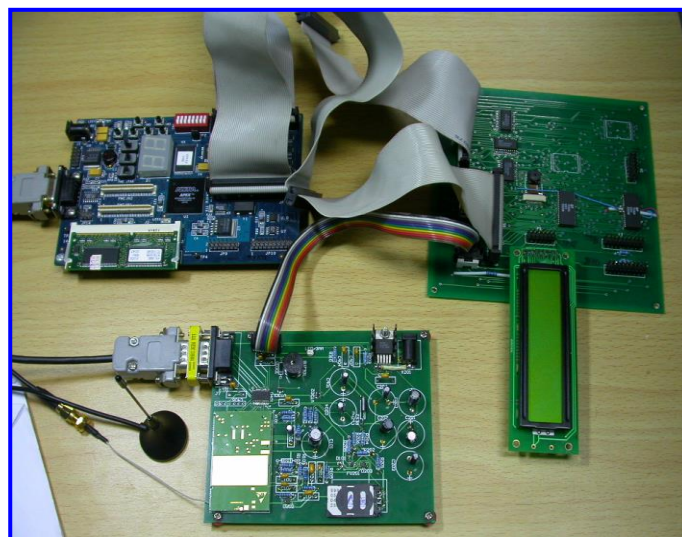
目 录

- **课程概述**
- **本门课程主要内容和考核办法**

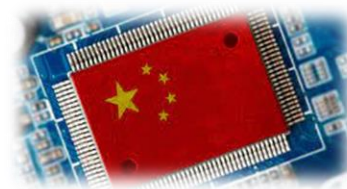
基本概念

- 软件 vs. 硬件
- 数字 vs. 模拟
- 开关器件
- 门电路
- 集成电路
- 可编程逻辑器件

软件 vs. 硬件



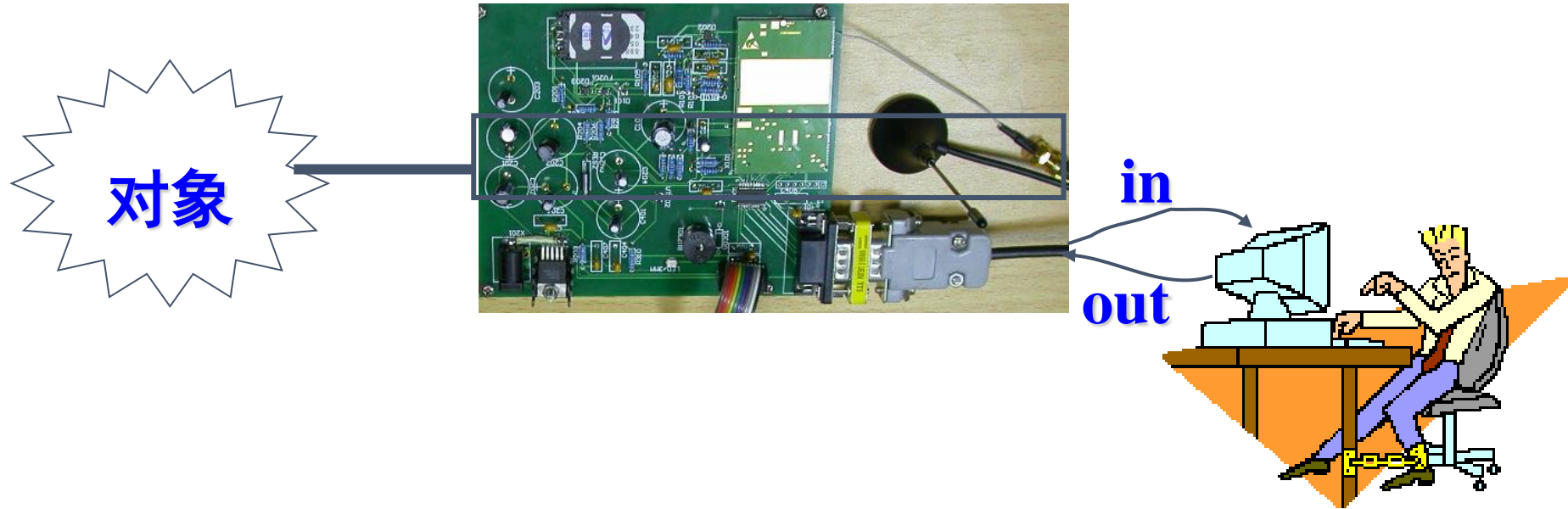
芯片行业急需发展



- **芯片**是很多行业必不可缺的原材料。
- 智能硬件是指具备信息采集、处理和连接能力，并可实现智能感知、交互、大数据服务等功能的新兴互联网终端产品，是“互联网+”人工智能的重要载体。
- 全球人工智能技术与产业持续高速发展，已经基本形成了由**芯片**、数据、开发框架、算法、应用组成的产业生态。



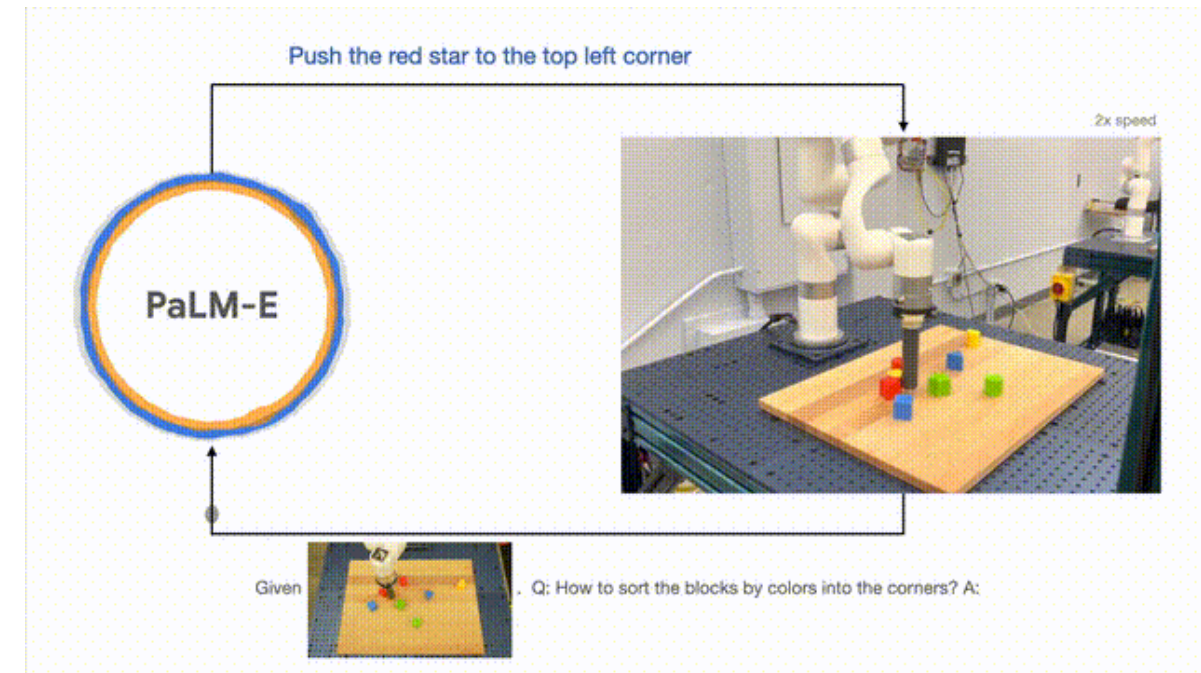
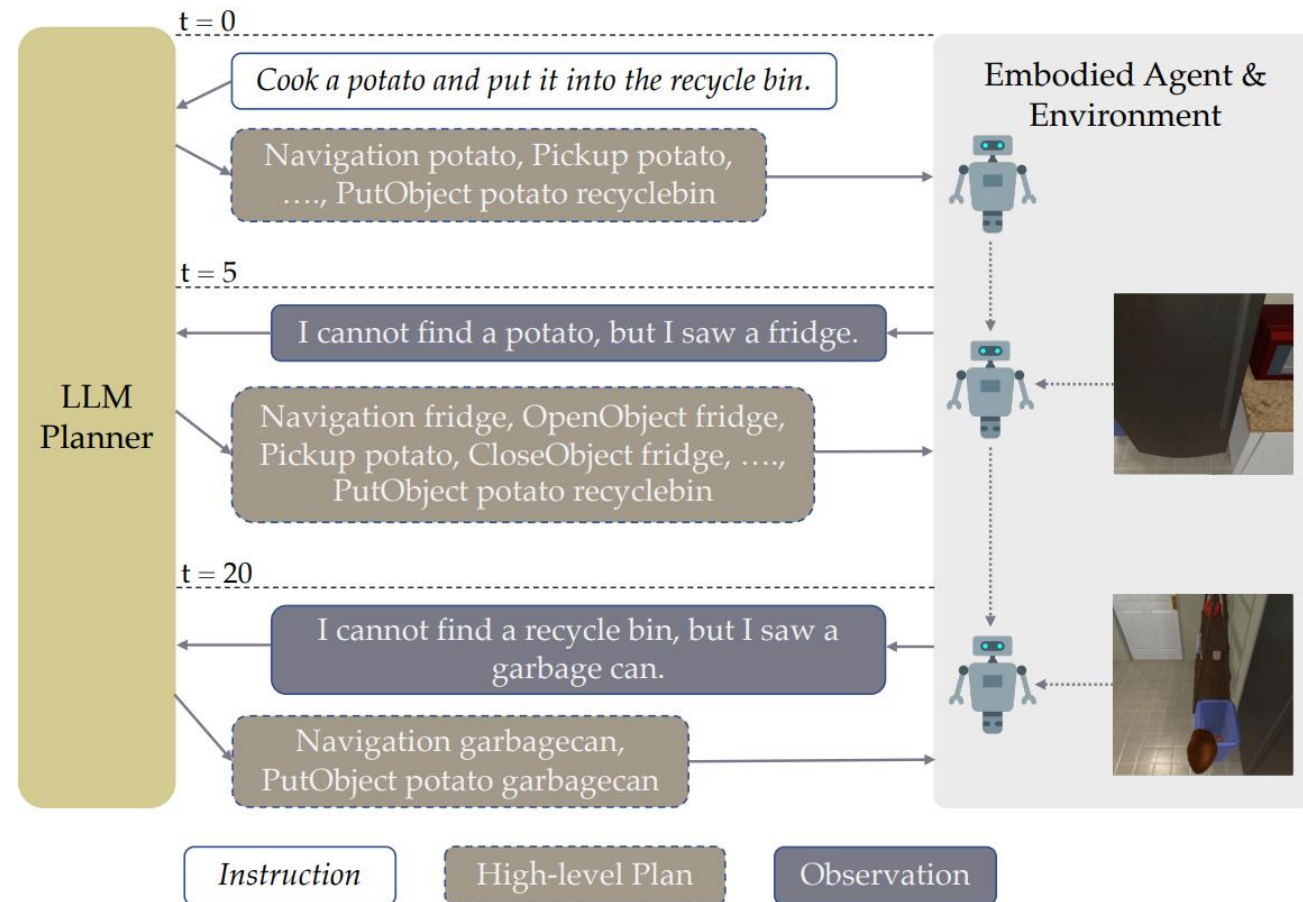
软件能力+硬件能力=双腿走路



“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！”

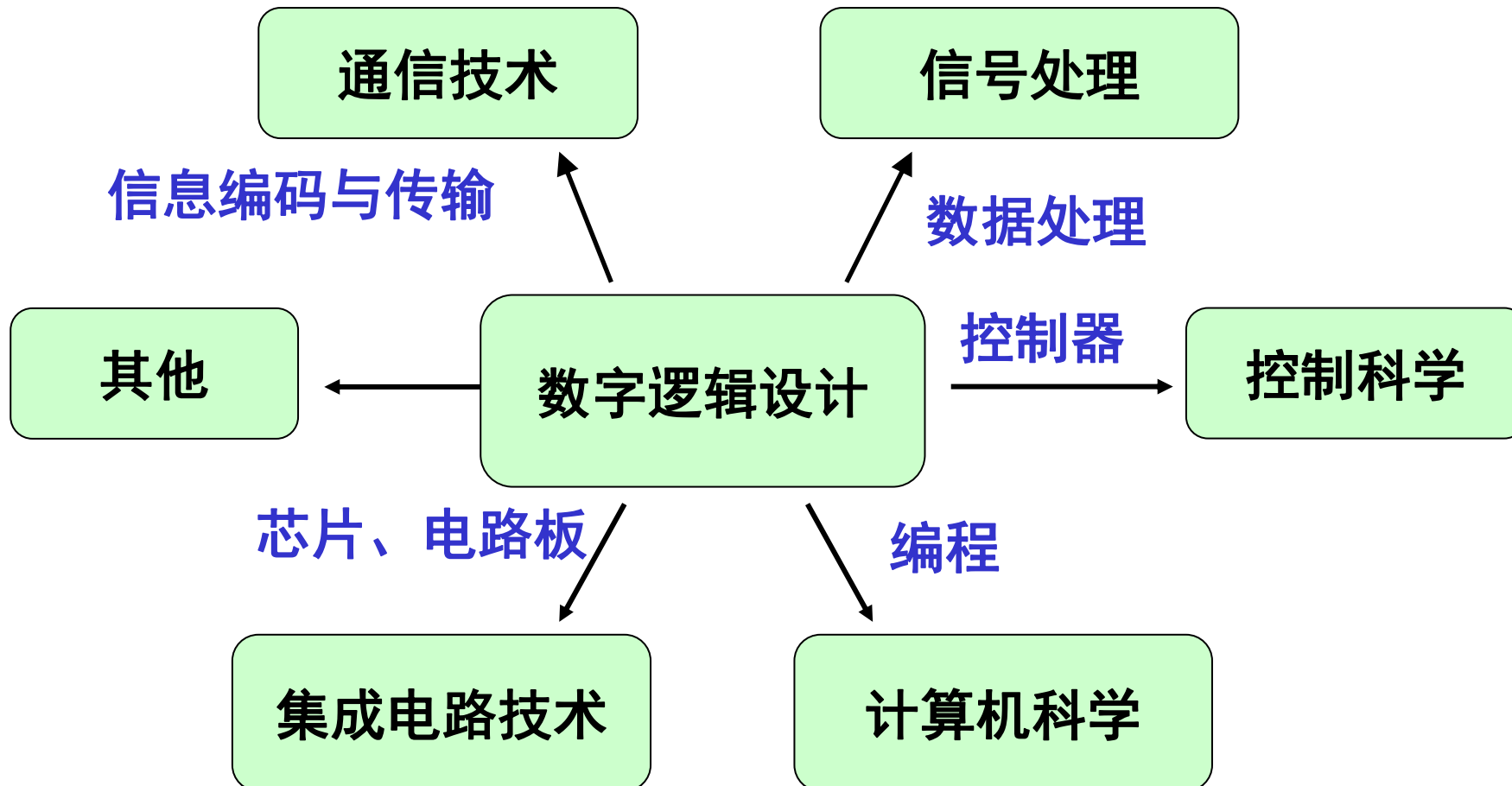
——图灵奖得主David Patterson

软件能力+硬件能力=双腿走路



课程定位

专业基础课



与其他课程之间的关系

📖 嵌入式系统及应用

系统应用软件与
系统硬件一体化

📖 计算机设计与实践

📖 计算机组成原理

📖 数字逻辑设计

📖 单片机

📖 电工原理

📖 编译原理

📖 操作系统

📖 CSAPP

📖 计算机体系结构

介绍计算机的基本**组成原理**和内部工作机制，**应用**数字逻辑课中的大量基本逻辑部件知识（如加法器、译码器、各种逻辑门、计数器、寄存器等），可以**设计**一个简单的CPU。

跨越软件和硬件两个层次，主要研究软件、硬件功能分配和对软件、硬件界面的确定。建立起计算机软硬件整机的概念，需要计算机组成原理的相关知识

单片机的外围电路、接口电路设计需要用到数字逻辑的相关知识（如各种逻辑门、译码器、数据选择器、计数器等）

掌握数字系统设计的理论基础布尔代数
理解基本元件(逻辑门、触发器)
如何应用数字电路进行数字系统逻辑设计

“数字逻辑设计”

- 又称“逻辑设计” (Logic Design)
- 设计的目标是构建系统 (Build System)
- 数字设计是系统工程，工程意味着“解决问题” (Problem Solving)
- 只有 5%-10% 是数字设计的创造性部分，其余90%-95% 都是常规的设计方法

模拟与数字 (Analog vs. Digital)

- 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

模拟信号 vs. 数字信号

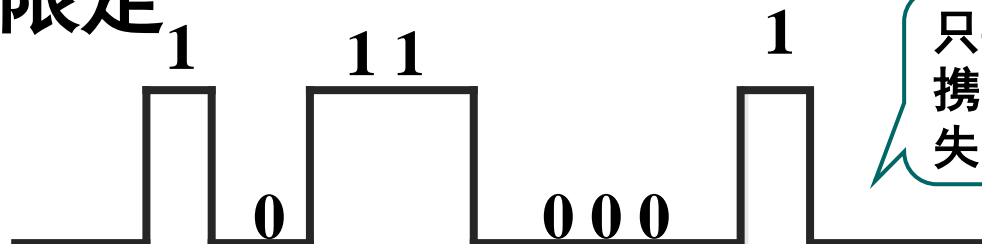
- **模拟信号**：数值的变化在时间上是**连续**的，在一定范围可取任意值

如：语音信号



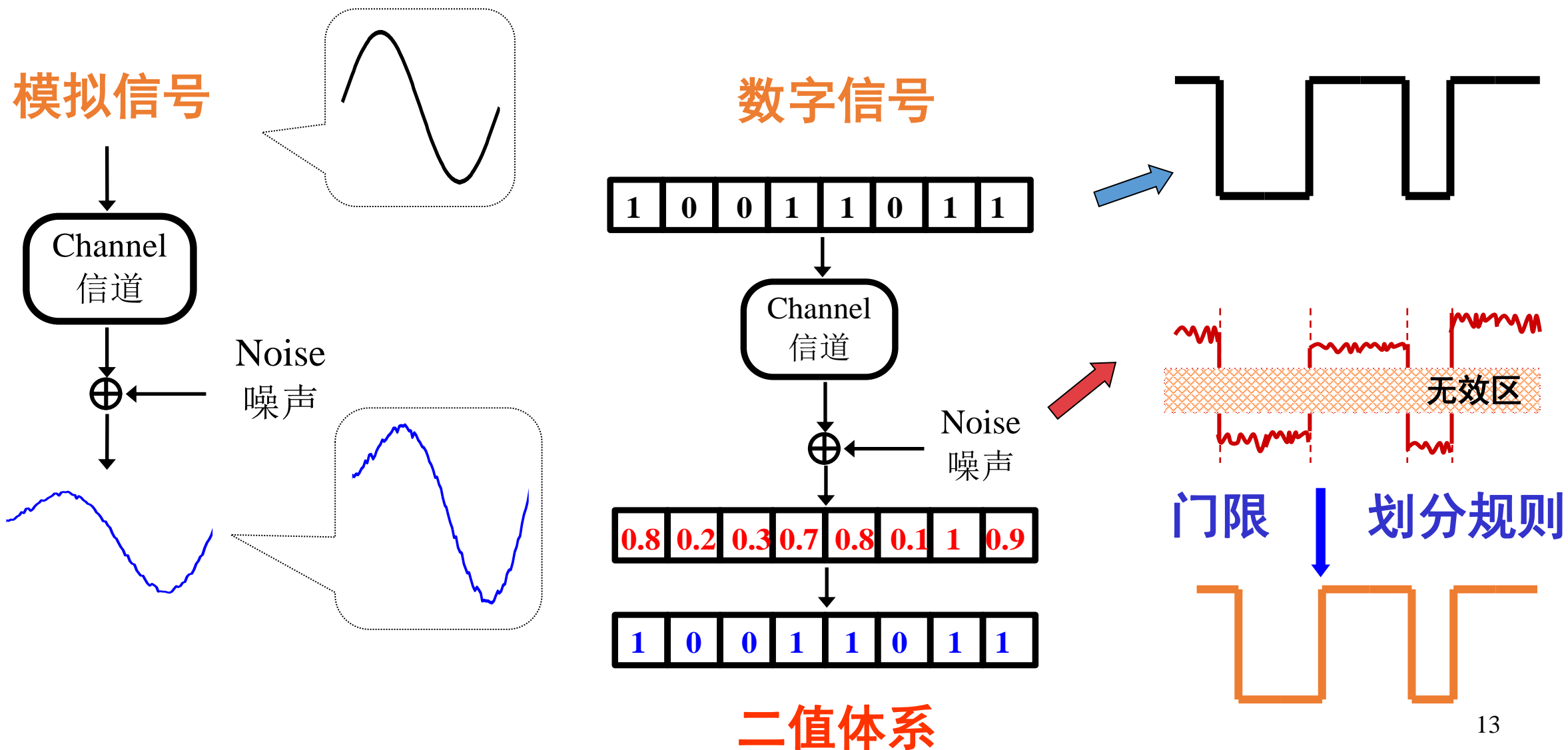
信息由幅值（频率、相位等）携带，处理时须保持其波形精确不变，易失真

- **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

模拟信号 vs. 数字信号



分析方法与模拟电路不同

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

描述方法：

真值表

表达式

功能表等

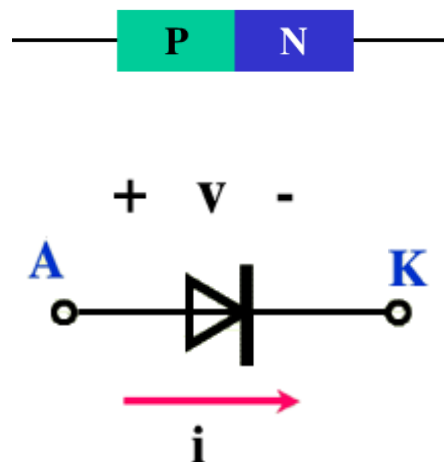
开关器件

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

$$V < V_{ON}$$

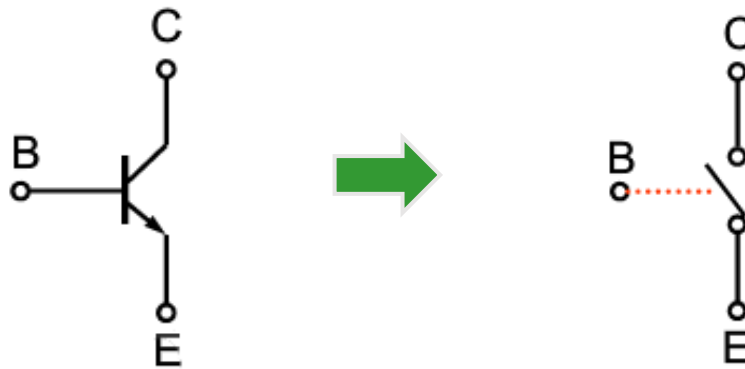
二极管截止



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。

问题：为何使用二进制？

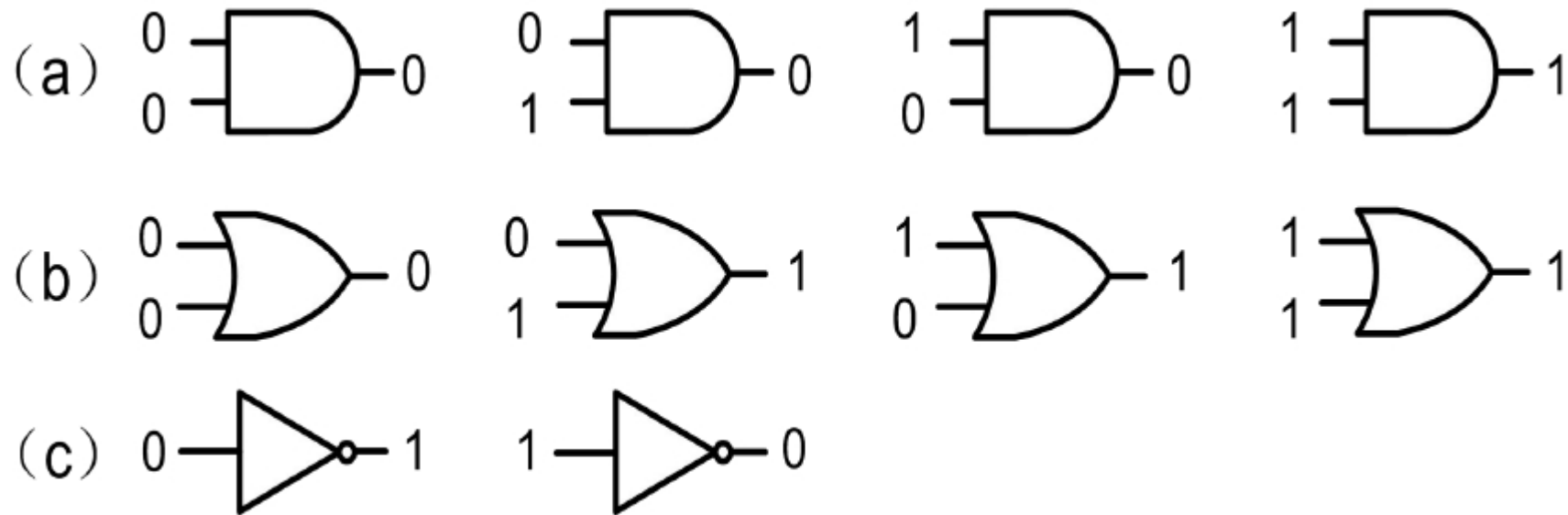
- 电路简单
- 对电器元件要求不高
- 可靠稳定
- 精确
- 易于存储
- 方便计算机处理

问题：为何使用二进制？

- 逻辑运算：+,-,×,÷
- 逻辑推理判断：
 - 举重比赛的评判电路
 - 自动售饮料机电路
 - 时序锁
 -



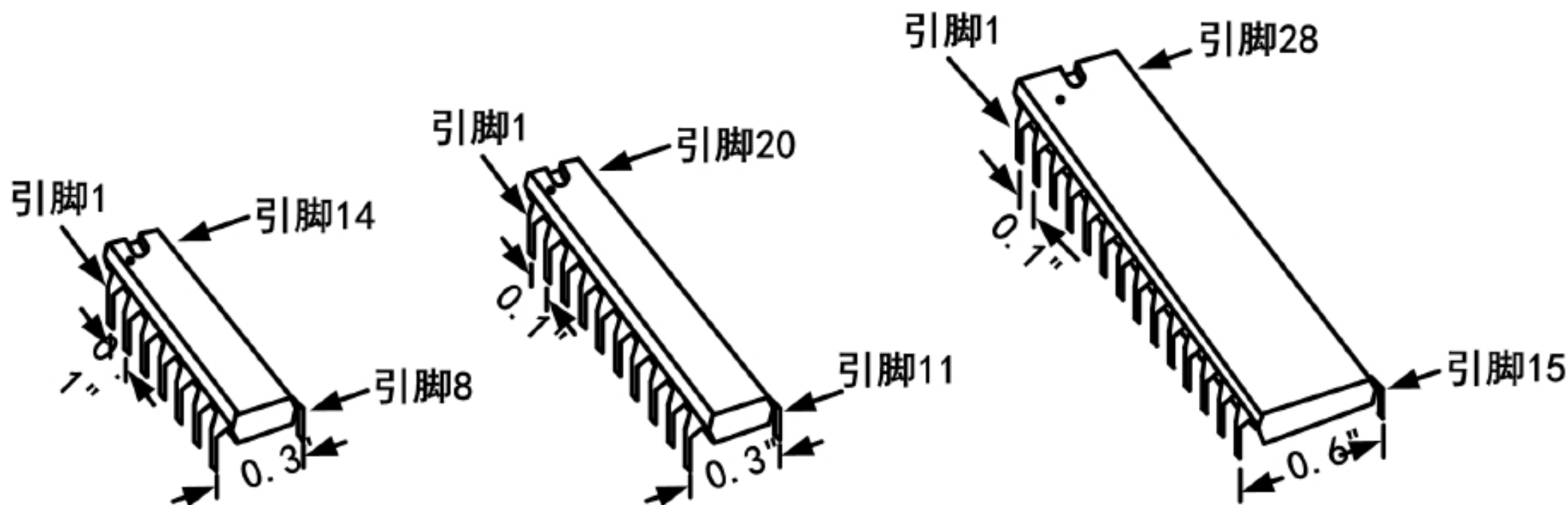
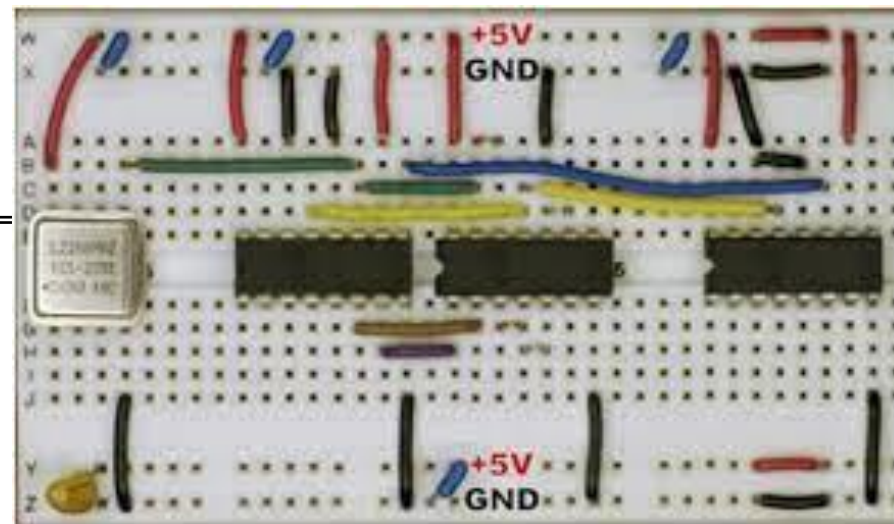
逻辑电路和门电路



(a) AND Gate (b) OR Gate (c) NOT Gate or Inverter

集成电路

- 单晶硅片(Wafer) — 模片 (Die)
- 双列直插式封装(Dual Inline-pin Package)



集成电路

- 小规模集成电路 (Small-Scale Integration): 1-20 门
- 中规模集成电路 (Medium-Scale Integration): 20-200 门
- 大规模集成电路 (Large-Scale Integration): 200-1,000,000 门
- 超大规模集成 (Very Large-Scale Integration): 1,000,000 门

可编程逻辑器件

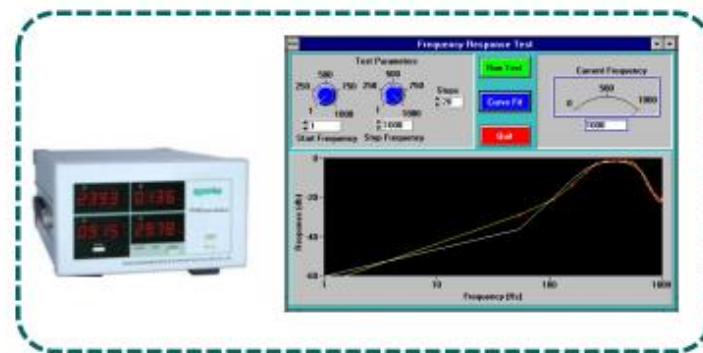
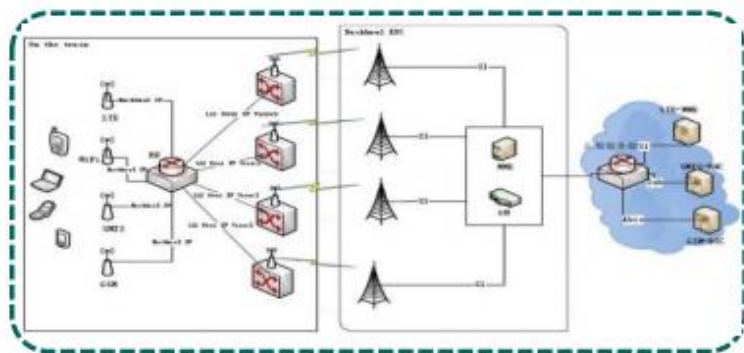
- 可编程阵列逻辑(PAL, Programmable Array Logic)
- 可编程逻辑器件(PLD, Programmable Logic Device)
- 复杂可编程逻辑器件(CPLD, Complex PLD)
- 现场可编程门阵列(FPGA, Field-Programmable Gate Array)

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)

数字系统的应用

- 数字通讯、数字控制、数字测量...



- 卫星、飞船... ——> 消费类电子产品



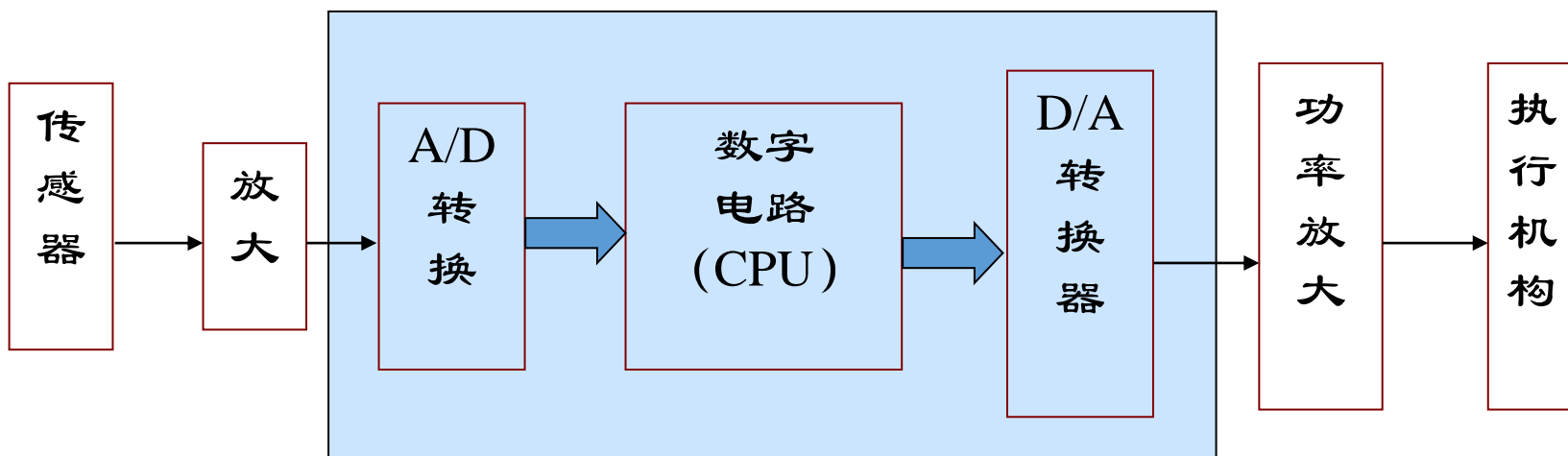
数字系统应用

- 掌上电脑
- 游戏机
- MP3
- 照相机、摄像机、录音笔
- GPS导航仪
- 智能手机
- ...



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。



数字系统应用——计算机

计算机是一种典型的数字系统

{ CPU
Memory
I/O interface
.....



笔记本电脑



平板电脑

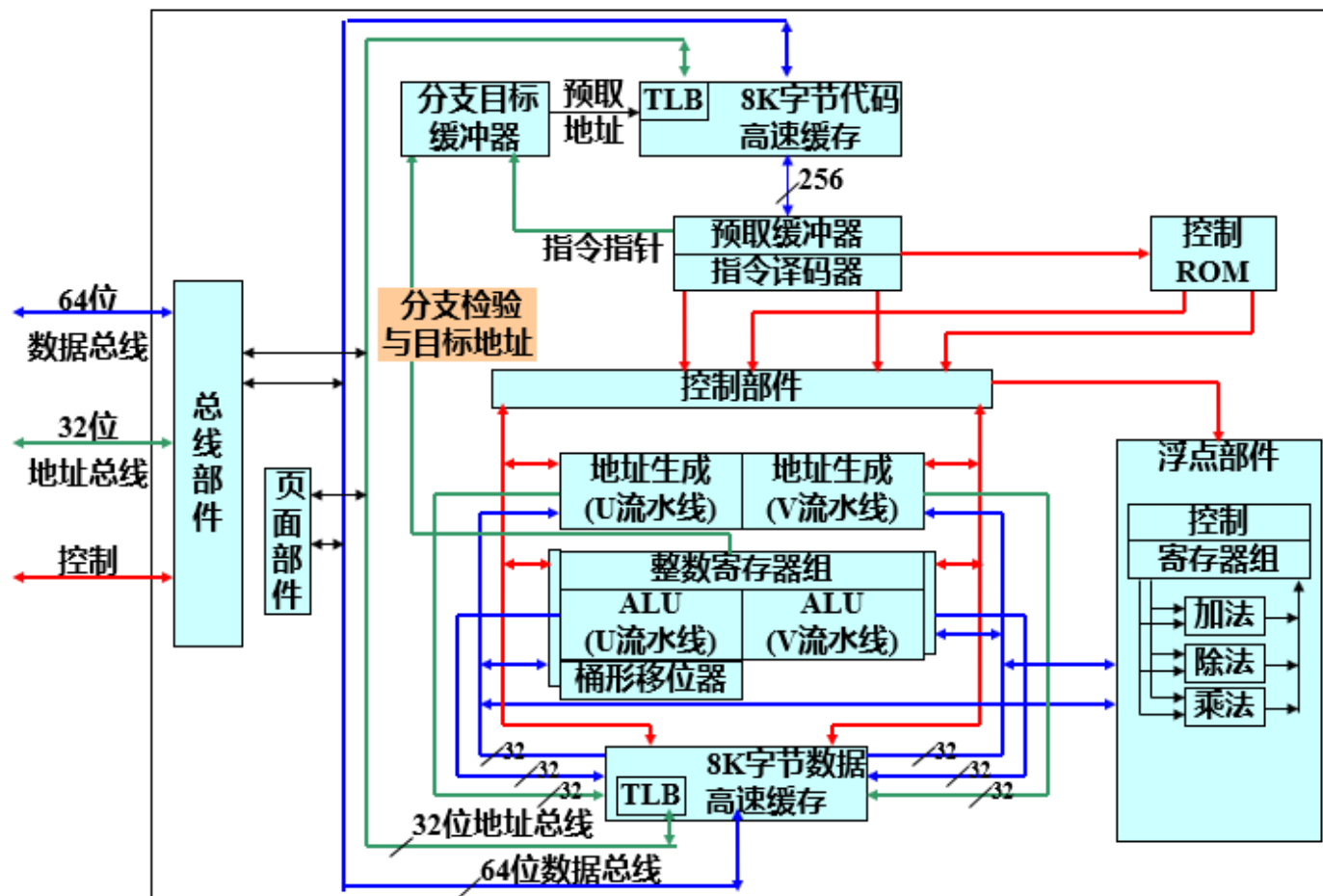


个人电脑



数字系统应用——CPU

—— CPU



数字系统的优点

- (1) 稳定性高，可靠性好
- (2) 易于设计，对电路精度要求不高
- (3) 表征数学量精度高、范围大

(4) 可编程性

Tape 磁带



VS



CD 光盘

(5) 快速, 低功耗

● Life 寿命: 10 years

VS

50 years

(6) 批量生产, 低成本

● Tone 音质: Noise 噪声

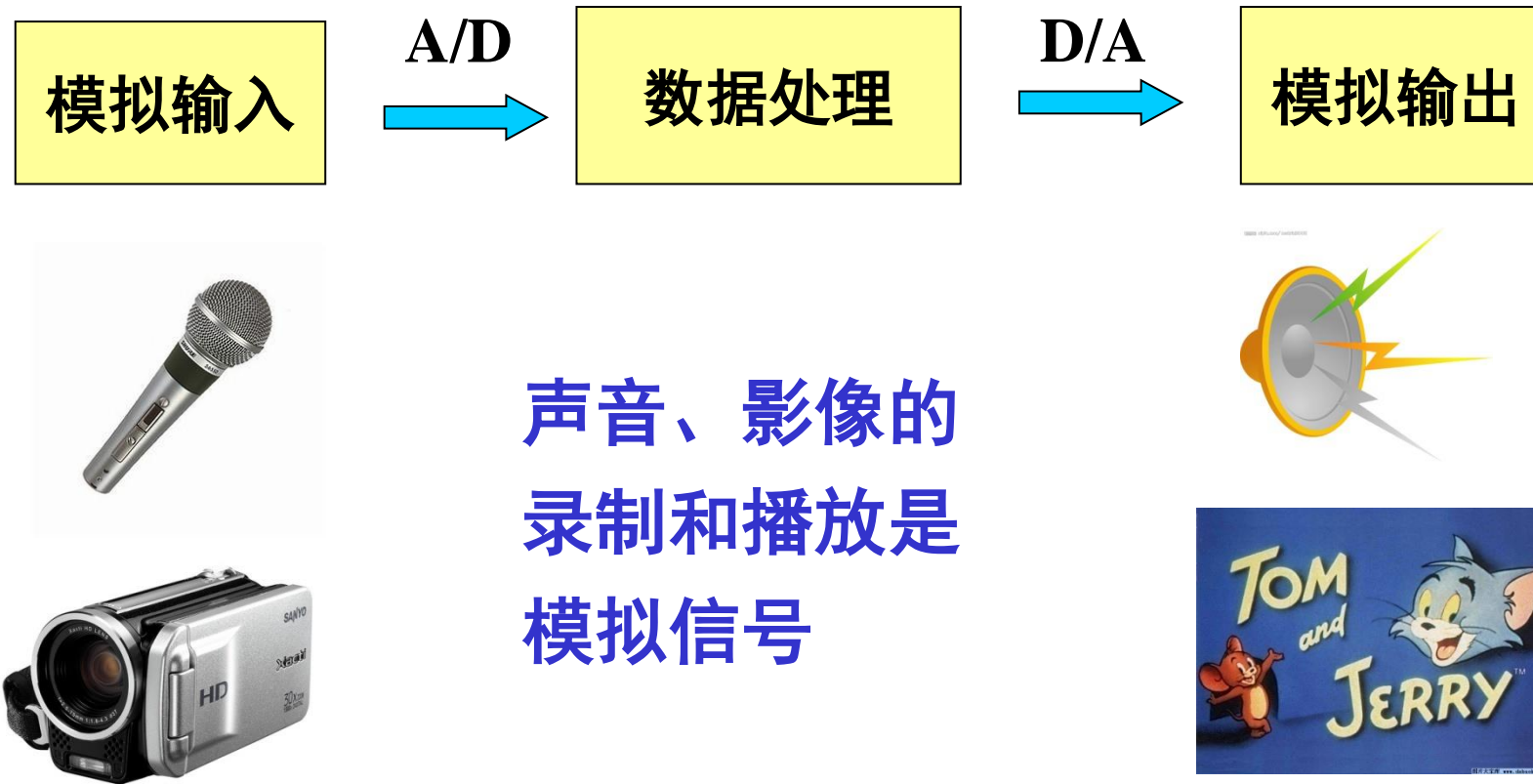
VS

Hi-Fi 高保真

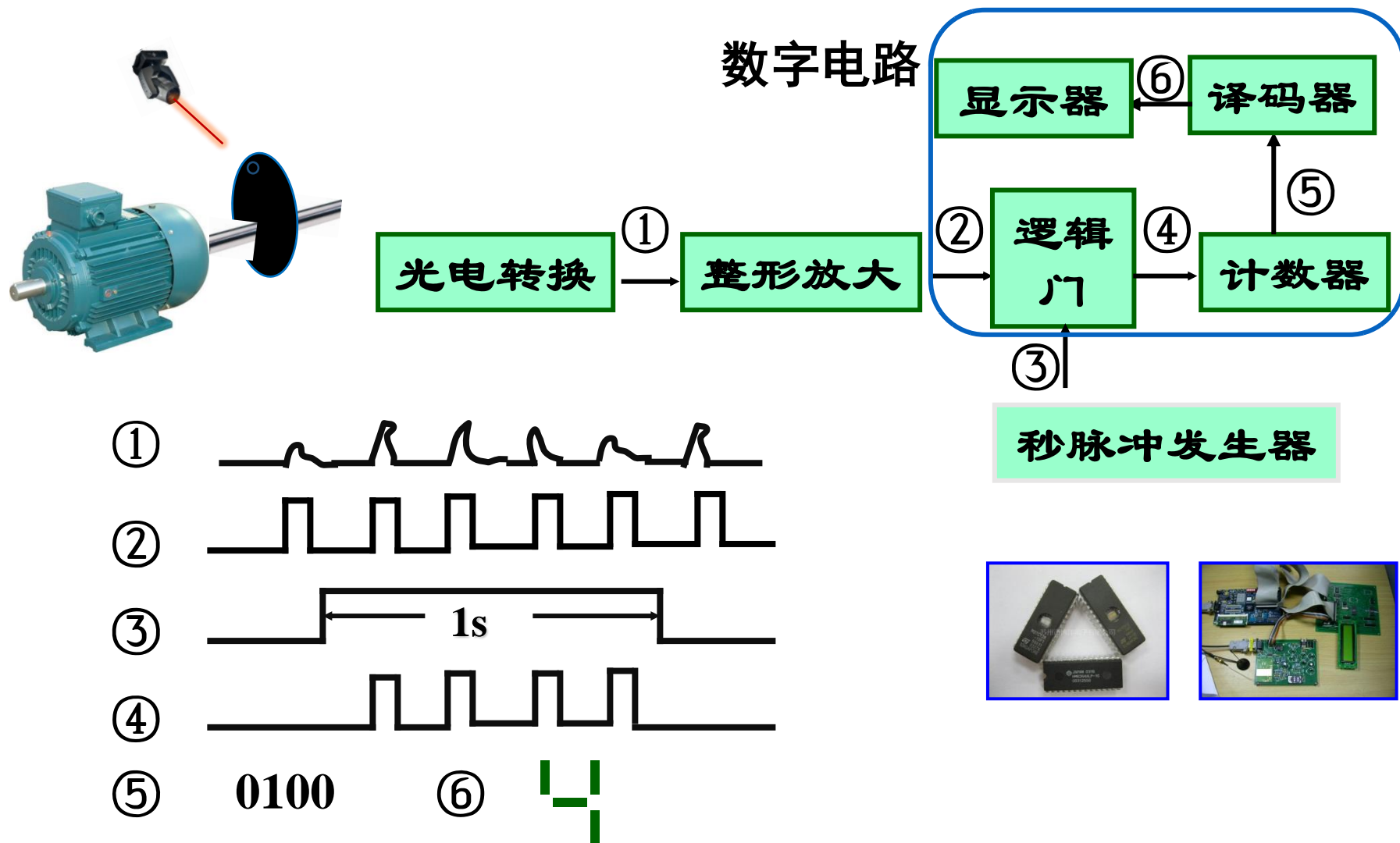


laptop

数字系统不能完全替代模拟信号



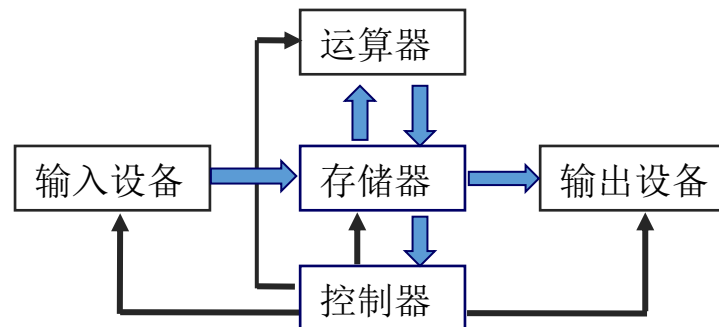
关于数字设计



数字系统的设计



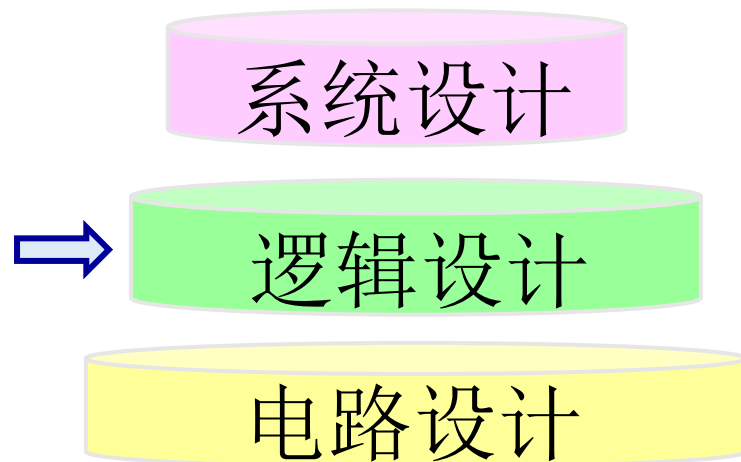
- 划分成子系统
- 确定各子系统特性



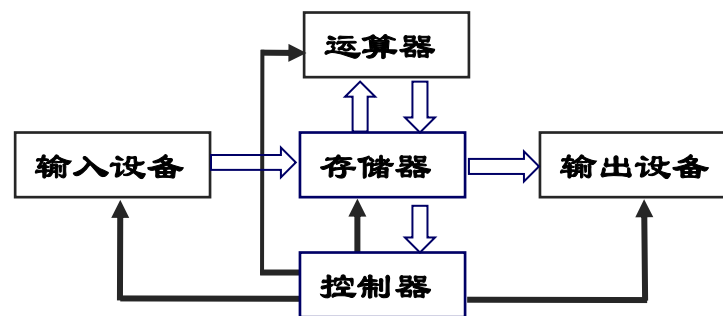
例如：计算机的系统设计

- 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

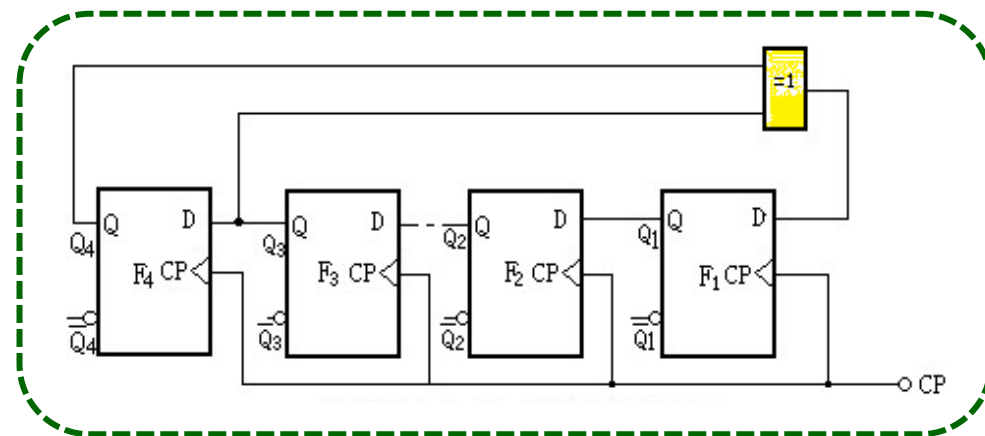


- 实现各子系统的逻辑功能
- 将各个功能模块互连



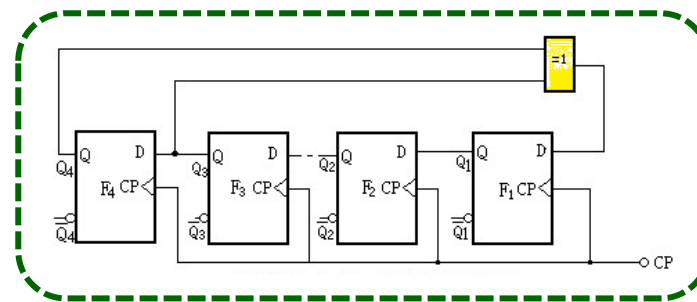
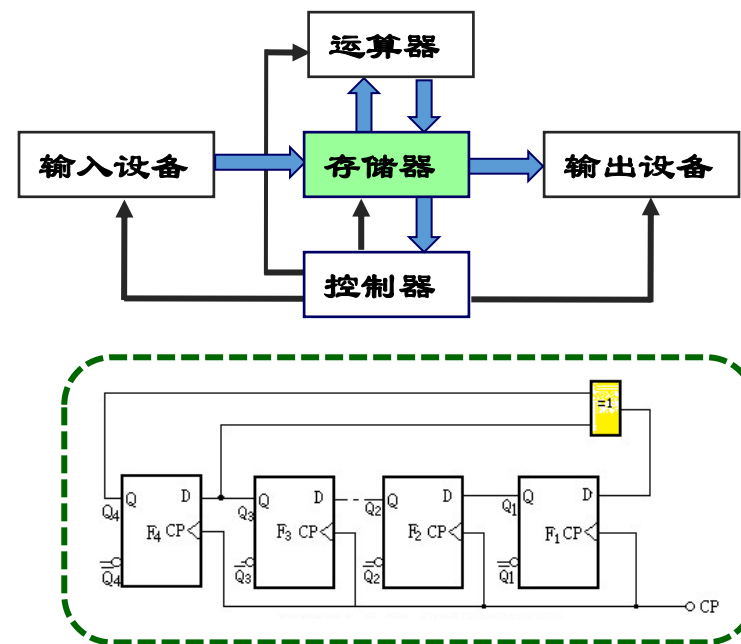
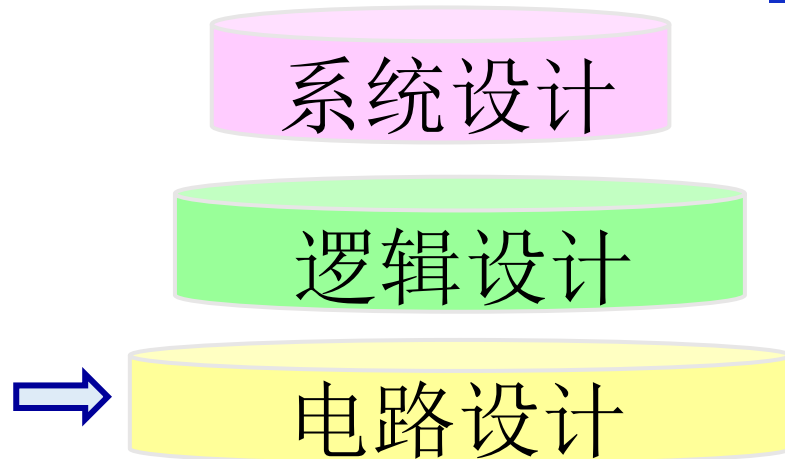
例：存储器（寄存器）设计

- 如何用逻辑门和触发器实现？



数字系统的设计——续

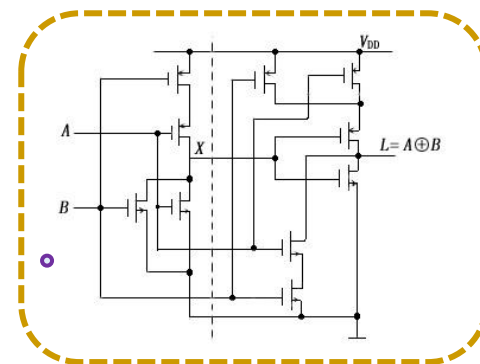
■ 确定特定逻辑器件的实现和连接



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



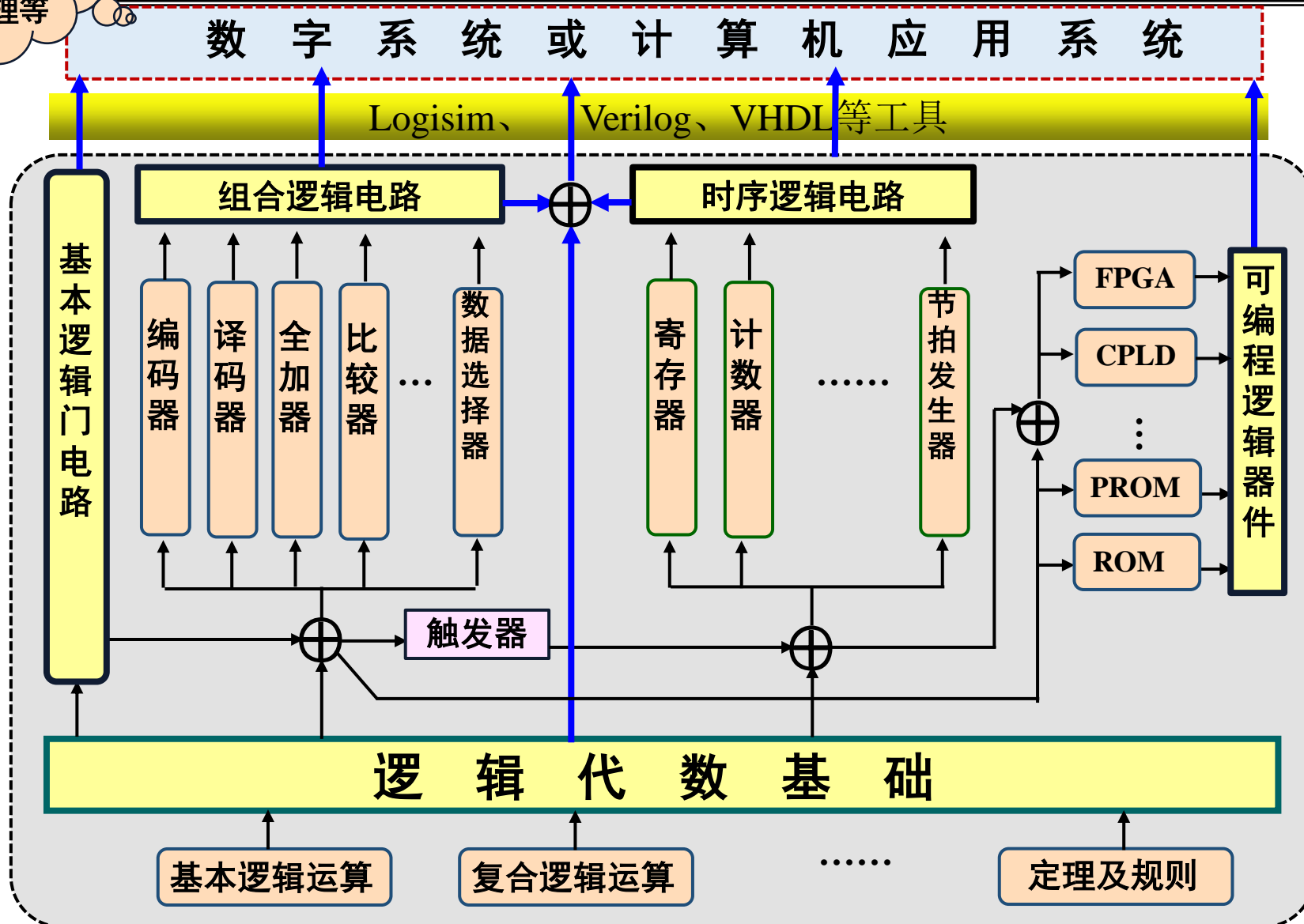
课程内容

- 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 (Verilog)

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



教材及参考书

- 逻辑设计基础(第7版), Charles Roth [著] 解晓萌等译. 清华大学出版社
- 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

- 搭建你
HDL&V
- 数字逻辑



——数字电
易勇明、弓
王玉龙. 津



(Verilog
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% (会考核10分左右的Verilog内容)
作 业: 20%
实 验: 20%

学习方法建议

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

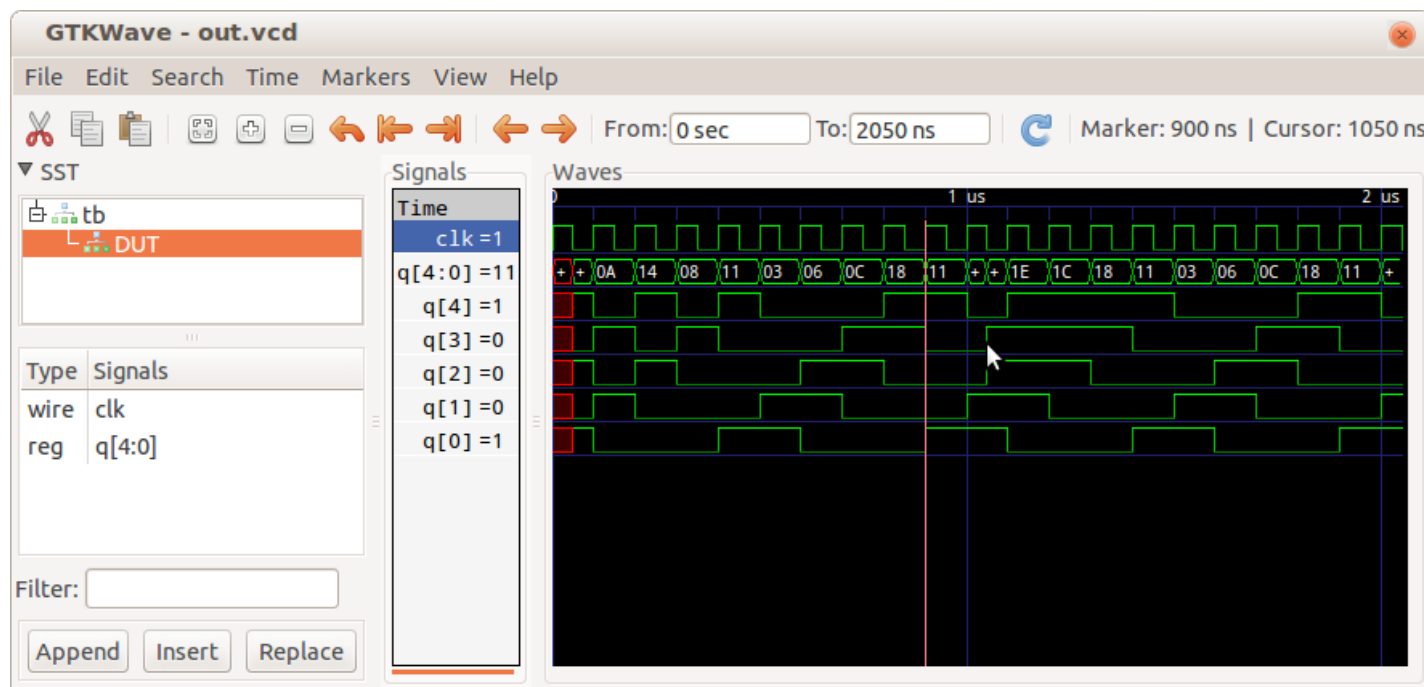
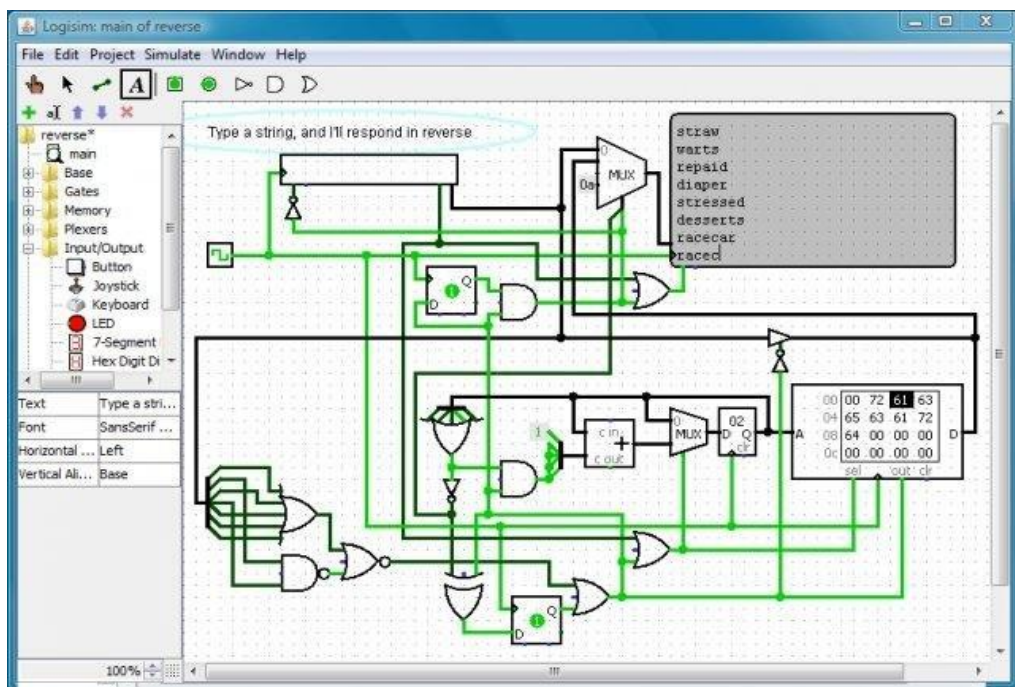
数字逻辑设计课程学习指南

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



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。

课程目标

- 初步掌握数字系统工程师所需要的技能技巧
- 初步体验成为一位数字系统工程师

对哪部分内容有疑问？

- ☐ A 无
- ☐ B 考核方式
- ☐ C 教材
- ☐ D 其他

提交