

# 《数字逻辑》

## (第一讲)

厦门大学信息学院软件工程系 曾文华

2024年9月2日

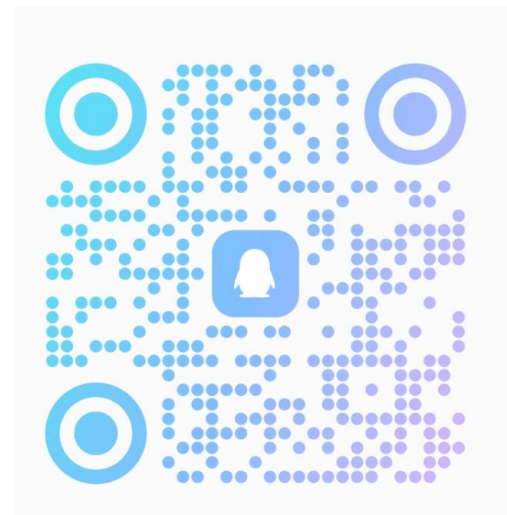
# 主讲教师：曾文华

- Mobile: 18150092819
- E-mail: whzeng@xmu.edu.cn
- 微信号: xmhzwzhz123
- QQ号: 1020018948
- 办公室: 西部片区1号楼316

微信



QQ



# 助教：吴克青

- Mobile: 18359252215
- E-mail: kqw@xmu.edu.cn
- 微信号: wxid\_b78r4e04zikg21

# 助教：聂声豪

- Mobile: 18937553682
- E-mail: n1029047573@163.com
- 微信号: NSH14198

# 课程群（微信）

- 微信群名称：数字逻辑（2024年下半年）
- 此课程群仅用于《数字逻辑》课程的学习，请勿在微信群中发布与课程内容无关的信息！

群聊：数字逻辑(2024下半年)



该二维码7天内(9月7日前)有效，重新进入将更新

# 课程群（QQ）

- QQ群名称：数字逻辑（2024年下半年）
- QQ群号码：901526497
- 此课程群仅用于《数字逻辑》课程的学习，请勿在微信群中发布与课程内容无关的信息！



# 2024—2025 学年第 1 学期课程表

专业：2023 级软件工程

( 人 )

时 节	一	二	三	四	五
上 1	汇编语言 张海英 西部	离散数学 杨维玲 2 班 数据结构与算法 廖明宏 1 班	汇编语言 毛波、吴素贞	离散数学 杨维玲 1 班	数据结构与算法 廖明宏 2 班 单周理论 双周实验
上 2					
午 3	数字逻辑 曾文华 西部片区 2 号楼 106	离散数学 杨维玲 1 班 数据结构与算法 廖明宏 2 班	汇编语言（实验） 毛波、吴素贞 双周：文宣楼机房 张海英 双周：西部片区机房 80 人	离散数学 杨维玲 2 班	数据结构与算法 廖明宏 1 班 单周理论 双周实验
午 4					
下 5	数字逻辑 曾文华 100 人 双周实验 4 号楼（文宣楼） B308	大学物理 B（下）	数据结构与算法 李贵林 学武楼	大学物理 B（下）	大学英语
下 6					

# 上课、实验时间

- 上课：
  - 周一（每周）上午**3-4节（10:10-11:50）**
  - 地点：西部片区**2号楼106**
- 实验：
  - 周一（双周）下午**5-6节（14:30-16:10）**
  - 地点：文宣楼（**4号楼）B308**



# 主教材

- 《**数字逻辑（第五版）**》，欧阳星明 主编，赵贻竹、于俊清 副主编，华中科技大学出版社，**2021年8月第5版**，ISBN: 9787568073318



**欧阳星明**，女，教授，1950年出生，湖南人。在华中科技大学任教32年，始终工作在教学、科研第一线，恪守“教书育人”的职责，努力为国家培养高素质的人才。

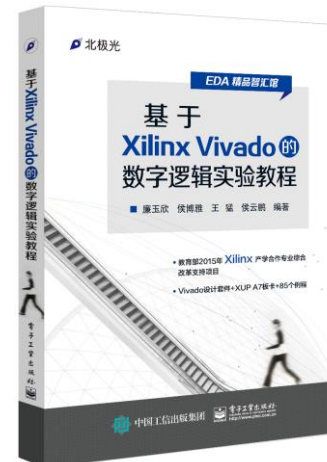
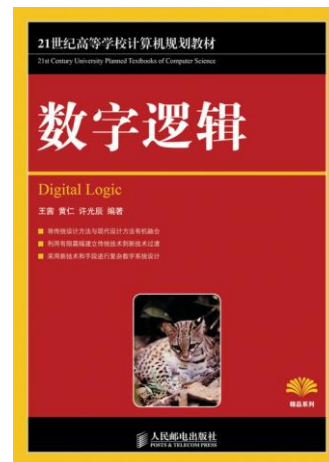
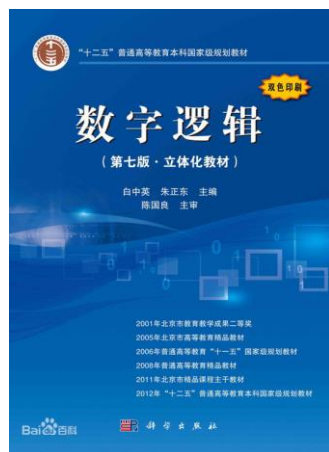
坚持以教书育人为己任，先后讲授过多门技术基础课和专业课，获华中科技大学教学质量优秀奖7项，1995年起担任技术基础课程“数字电路与逻辑设计”课程组长，该课程于2005年获国家精品课程；主编教材6本，参编教材7本，其中国家“”十一•五“九•五”、“八•五”规划教材各1本，2本获华中科技大学优秀教材一等奖；主持完成教改项目10多项，获校级教学成果奖5项，省级教学成果一等奖1项，国家级教学成果二等奖1项，人民日报、湖北日报、湖北电视台等媒体先后对有关成果及应用进行了报道。

长期从事计算机应用领域的研究，近年来主要进行网络应用技术、虚拟现实技术方面的研究。主持和参与完成各类科研项目30余项；获省部级科技成果奖3项，发表科研论文50余篇。

始终保持教师的高尚情操，爱岗敬业，先后获得华中科技大学“三育人”奖、优秀研究生指导教师、“十佳女教工”、首届教学名师、优秀中青年骨干教师，以及“华为奖教金”、“宝钢优秀教师奖”等奖励和荣誉，2006年被评为“湖北名师”，2010年享受国务院特殊津贴。

# 主要参考书

- 《**数字逻辑（第七版·立体化教材）**》，白中英、朱正东 主编，科学出版社，2020年12月，ISBN：9787030641083
- 《**数字逻辑（第2版）**》，卫朝霞 编著，清华大学出版社，2020年1月，ISBN：9787302506751
- 《**数字逻辑**》，王茜、黄仁、许光辰 编著，人民邮电出版社，2011年5月，ISBN：9787115248688
- 《**基于Xilinx Vivado的数字逻辑实验教程**》，廉玉欣、侯博雅、王猛、侯云鹏 编著，电子工业出版社，2016年8月，ISBN：9787121294952



# 课件下载

- **Ftp: 121.192.180.236**
- **User Name: student**
- **Password: ILoveSoftware!**
- **Port: 21**
  
- **/教学课件/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/上课课件**
- **/教学课件/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/实验课件**
- **/教学课件/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/实验软件**
- **/教学课件/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/实验程序**
- **/教学课件/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/参考资料**

# 上传作业（实验报告）

- Ftp: 121.192.180.236
- User Name: student
- Password: ILoveSoftware!
- Port: 21
- /上传作业/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/作业/1班/第X次作业
- /上传作业/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/作业/2班/第X次作业
- /上传作业/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/实验/1班/第X次实验
- /上传作业/曾文华/数字逻辑（2024下半年）/实验/2班/第X次实验
- 作业文件名取 “学号+姓名+第X次作业.pptx”
- 实验报告文件名取 “学号+姓名+第X次实验.docx”

# 《数字逻辑（1班）》课程签到表

（2024年9月2日上午10:10-11:50）

序号	姓名	签字	序号	姓名	签字	序号	姓名	签字
1	芦思瑶		23	安柯睿		45	高鑫	
2	伊木然·艾孜江		24	蔡丰旭		46	葛清扬	
3	陈双		25	蔡欣琪		47	谷方舟	
4	刘浩天		26	陈菲琳		48	郭苍菊	
5	庄子鲲		27	陈嘉豪		49	韩双阳	
6	刘建超		28	陈锦辉		50	胡瀚文	
7	冯旭		29	陈铭豪		51	胡俊朗	
8	陈泽峯		30	陈圣铭		52	胡羿	
9	刘钦澎		31	陈诗媛		53	黄晨阳	
10	刘雨晨		32	陈婷		54	黄琬	
11	张瀚文		33	陈永睿		55	黄天霖	
12	侯福宽		34	陈育琛		56	黄尧涛	
13	汪琦轩		35	陈震林		57	贾文轩	
14	吴乐言		36	陈梓涵		58	金承浩	
15	周晨辉		37	陈祖训		59	康舒瑶	
16	陆浩楠		38	丁晨曦		60	郎恒	
17	谭舒月		39	董海诺		61	李根泽	
18	陈琮翰		40	丁培恩		62	李嘉豪	
19	苏一涵		41	丁屹宁		63	李明峪	
20	黄世烨		42	范乘畅		64	李琪	
21	杨子坤		43	冯浩洋				
22	阿志豪		44	伏文静				

# 《数字逻辑（2班）》课程签到表

(2024年9月2日上午 10:10-11:50)

序号	姓名	签字	序号	姓名	签字	序号	姓名	签字
65	李韬宇		87	王博文		109	张天天	
66	李雪萍		88	王鼎淇		110	张潇飞	
67	李忠晨		89	王梓帆		111	张宇睿	
68	林浩		90	温学成		112	赵昊天	
69	林杰辉		91	吴王韬		113	赵家乐	
70	林俊豪		92	吴晓强		114	赵义钦	
71	刘畅		93	吴宇森		115	郑贺洋	
72	刘佳榕		94	吴子涵		116	郑立全	
73	刘劲宏		95	奚铭锋		117	郑学智	
74	刘雨欣		96	夏张添		118	郑志辉	
75	罗芳魁		97	肖登戈		119	钟启恒	
76	梅懿宁		98	徐瑞婷		120	周浩然	
77	缪奔翔		99	严可文		121	周继军	
78	潘腾凯		100	杨明星		122	周子康	
79	潘幼斌		101	杨赛宇		123	朱一鸣	
80	邱康涵		102	杨智策		124	朱志民	
81	石体健		103	易翔昊		125	曾子豪	
82	宋浩元		104	应宏飞		126	刘强	
83	宋沛航		105	于奎源		127	张筱艺	
84	苏仪		106	曾子豪		128	刘灵菲	
85	苏溢棚		107	张华都				
86	谭羿恒		108	张景豪				

# 课程目的

- 《数字逻辑》是信息学科各专业学生必修（选修）的一门重要的专业技术基础课。设置《数字逻辑》课程的目的：使学生掌握数字系统分析与设计的基本知识和理论，熟悉各种不同规模的逻辑器件，掌握各类逻辑电路分析与设计的基本方法，为数字计算机和其他数字系统的硬件分析与设计奠定坚实的基础。
- 先导课程：《大学物理》、《电路原理》
- 后续课程：《计算机组成原理》、《嵌入式系统》
- 学分/周学时：2学分 / （2+1）学时

# 教学大纲、教学进度表

- 17周，17次上课、8次实验

厦门大学本科课程教学大纲			
课程名称	数字逻辑		
英文名称	Digital Logic		
课程编号		学分/周学时	2/2+1
课程类型	学科或专业方向性课		
先修课程	大学物理		
选用教材	《数字逻辑（第五版）》，欧阳星明 主编，赵贻竹、于俊清 副主编。 华中科技大学出版社，2021年8月第5版，ISBN: 9787568073318		
主要参考书	1、《数字逻辑（第七版·立体化教材）》，白中英、朱正东 主编，科学出版社，2020年12月，ISBN：9787030641083		
	2、《数字逻辑（第2版）》，卫朝霞 编著，清华大学出版社，2020年1月，ISBN：9787302506751		
	3、《数字逻辑》，王茜、黄仁、许光辰 编著，人民邮电出版社，2011年5月，ISBN：9787115248688		
	4、《基于Xilinx Vivado的数字逻辑实验教程》，廉玉欣、侯博雅、王猛、侯云鹏 编著，电子工业出版社，2016年8月，ISBN：9787121294952		
一、课程性质、目的与任务			
<p>《数字逻辑》是信息学科各专业学生必修（选修）的一门重要的专业技术基础课。设置《数字逻辑》课程的目的是：使学生掌握数字系统分析与设计的基本知识和理论，熟悉各种不同规模的逻辑器件，掌握各类逻辑电路分析与设计的基本方法，为数字计算机和其他数字系统的硬件分析与设计奠定坚实的基础。</p>			
二、教学基本要求			
<p>通过《数字逻辑》课程的教学，要求学生能以逻辑代数为工具，熟练掌握对各类组合电路、同步时序电路、异步时序电路的基本逻辑单元进行逻辑分析和设计，并在了解电子设计自动化的基础上，基本掌握数字系统的设计过程。</p>			
三、主要内容及学时安排			
章（或节）	主要内容		学时安排
第1章 基本知识	1.1概述、1.2数制及其转换、1.3带符号二进制数的代码表示、1.4几种常用的编码		2学时讲课

厦门大学信息学院

## 教学进度表

(2024—2025 学年第 1 学期)

课程名称 数字逻辑 总学时 32 + 16 学分 2  
专业、年级 软件工程、2023 级 任课教师 曾文华

各章节教学大纲要	教学形式	时间安排	主讲人	备注
第 1 章：基本知识（1.1 概述、1.2 数制及其转换、1.3 带符号二进制数的代码表示、1.4 几种常用的编码）	课程讲授	2024 年 9 月 2 日 （单周一）	曾文华	第 1 周
第 2 章：逻辑代数基础（2.1 逻辑代数的基本概念、2.2 逻辑代数的基本定理和规则、2.3 逻辑函数表达式的形式与变换、2.4 逻辑函数化简）	课程讲授	2024 年 9 月 9 日 （双周一）	曾文华	第 2 周
第 1 次实验：Logisim 的使用 + 逻辑代数基础验证	实验	2024 年 9 月 9 日 （双周一）	曾文华	第 2 周
第 3 章：集成门电路与触发器（3.1 数字集成电路的分类、3.2 半导体器件的开关特性、3.3 逻辑门电路、3.4 触发器）	课堂讲授	2024 年 9 月 16 日 （单周一）	曾文华	第 3 周



# 课程考核方法

- **平时成绩：30%**
  - 课堂出勤情况（10%）
  - 作业提交及完成情况（20%）
- **实验成绩：20%**
  - 实验出勤及完成情况（10%）
  - 实验报告提交及完成情况（10%）
- **期末考试（闭卷）：50%**

# 课程内容

- 全书共9章：

**第1章 基本知识**

**第2章 逻辑代数基础**

**第3章 集成门电路与触发器**

**第4章 组合逻辑电路**

**第5章 同步时序逻辑电路**

**第6章 异步时序逻辑电路**

**第7章 中规模通用集成电路及其应用**

**第8章 可编程逻辑器件**

**第9章 综合应用举例**



# 第1章 基本知识

- 1.1 概述
- 1.2 数制及其转换
- 1.3 带符号二进制数的代码表示
- 1.4 几种常用的编码

# 1.1 概述

1.1.1 数字系统

1.1.2 数字逻辑电路的类型和研究方法

## • 1.1.1 数字系统

- **数字系统**是一个能够对数字信号进行加工、传递和存储的实体，它由实现各种功能的数字逻辑电路相互连接而成。
- **数字计算机**就是一种典型的数字系统。
- 1、数字信号
  - **模拟量**（连续量）：在时间上和数值上是连续变化的。例如，温度、压力、电压、电流等。
  - **模拟信号**：表示模拟量的信号称为模拟信号。
  - **数字量**：在时间上和数值上是离散的、断续的。例如，学生成绩记录、工厂产品统计、电路开关的状态等。
  - **数字信号**：表示数字量的信号称为数字信号。

- 数字系统中处理的是数字信号。
- 当数字系统要与模拟信号发生联系时，必须使用模/数（A/D）、数/模（D/A）转换电路，对信号类型进行变换。
  - A（Analog，模拟量）
  - D（Digital，数字量）
- 图1.1：某控制系统框图。

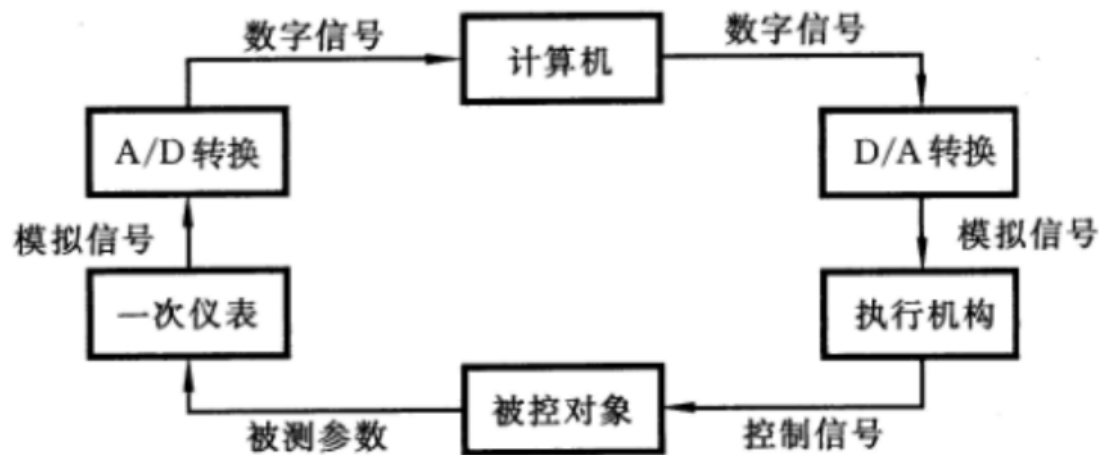


图 1.1 某控制系统框图

## – 2、数字逻辑电路

- 用来处理数字信号的电路称为数字电路（也称为**数字逻辑电路**、逻辑电路）。
- 数字逻辑电路的**特点**:
  - ① 电路的基本工作信号是二值信号（**0**、**1**）。
  - ② 电路中的半导体器件一般都工作在开、关状态，对电路研究时，主要关心输出和输入之间的逻辑关系。
  - ③ 电路结构简单、功耗低、便于集成制造和系列化生产。
  - ④ 由数字逻辑电路构成的数字系统，工作速度快、精度高、功能强、可靠性好。

### – 3、数字系统的层次结构

- 图1.2：数字系统的层次结构。

- SSI: Small Scale Integration, 小规模集成电路
- MSI: Medium Scale Integration, 中规模集成电路
- LSI: Large Scale Integration, 大规模集成电路
- VLSI: Very Large Scale Integration, 超大规模集成电路

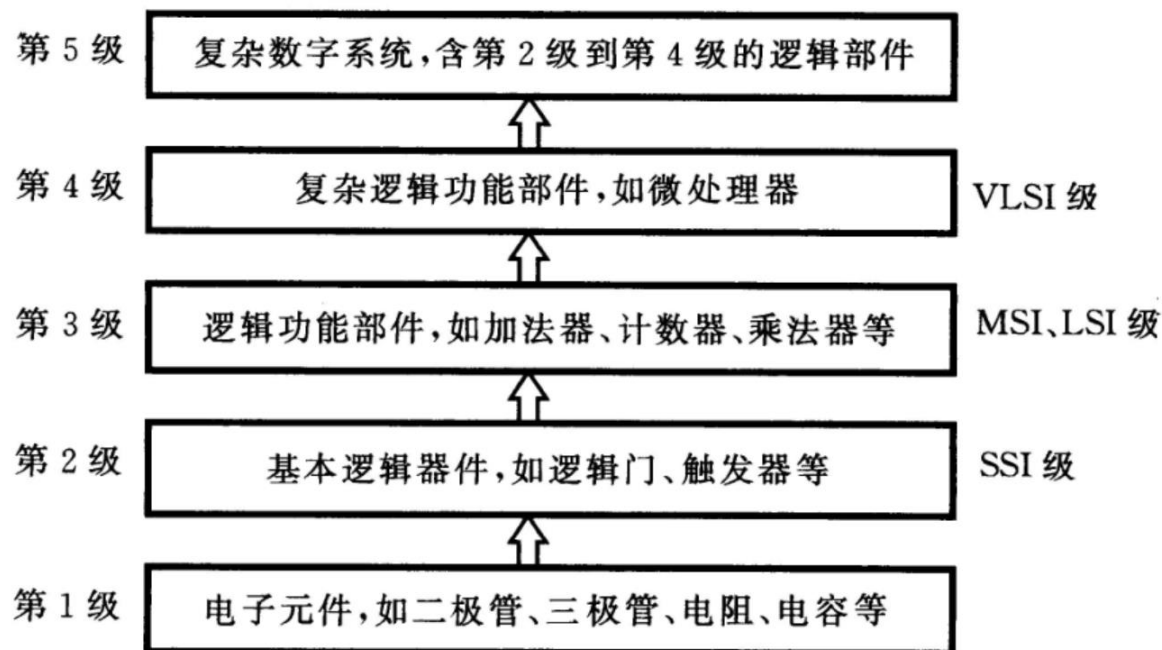


图 1.2 数字系统的层次结构

## – 4、典型的数字系统：数字计算机

- **数字计算机**是一种能够自动、高速、精准地完成数值计算、数据加工和控制、管理等功能的数字系统。

- (1) 数字计算机的组成

- 图1.3：数字计算机的一般结构（五大部件）。

- (2) 计算机的发展历程

- 表1.1：数字计算机的发展历程（五代）。

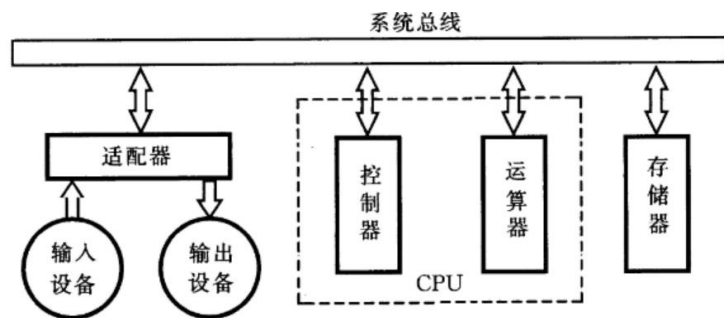


图 1.3 数字计算机的一般结构

表 1.1 数字计算机的发展历程

主要器件	开始时间(年)	运算速度
电子管	1946	几千次/秒~几万次/秒
晶体管	1958	几万次/秒~几十万次/秒
小、中规模集成电路	1965	几十万次/秒~几百万次/秒
大规模、超大规模集成电路	1971	几百万次/秒~几千万次/秒
巨大规模集成电路	1986	几千万次/秒~几百亿次/秒



## • 1.1.2 数字逻辑电路的类型和研究方法

### – 1、数字逻辑电路的类型

- **组合逻辑电路**：如果一个逻辑电路在任何时刻的稳定输出仅取决于该时刻的输入，而与电路过去的输入无关，则称之为组合逻辑电路。
  - “多路表决器”属于组合逻辑电路。
- **时序逻辑电路**：如果一个逻辑电路在任何时刻的稳定输出不仅取决于该时刻的输入，而且与过去的输入相关，则称之为时序逻辑电路。
  - “计数器”属于时序逻辑电路。
- 时序逻辑电路按照是否有统一的时钟信号进行同步，分为：
  - **同步时序逻辑电路**
  - **异步时序逻辑电路**（包括：**脉冲**异步时序逻辑电路、**电平**异步时序逻辑电路）

## – 2、数字逻辑电路的研究方法

- 对数字系统中逻辑电路的研究有两个主要任务：
  - **分析**：对一个给定的数字逻辑电路，研究它所实现的逻辑功能和电路的工作性能，称为逻辑电路分析。
  - **设计**：根据客观提出的功能要求，在给定条件下构造出实现预定功能的逻辑电路，称为逻辑电路设计（逻辑设计、逻辑综合）。
- 数字逻辑电路分析与设计的传统方法：**逻辑代数**。
- 数字逻辑电路分析与设计新的方法：**PLD、CAD、EDA**。
  - **PLD**: Programmable Logic Device, 可编程逻辑器件
  - **CAD**: Computer Aided Design, 计算机辅助设计
  - **EDA**: Electronic Design Automation, 电子设计自动化

# 1.2 数制及其转换

1.2.1 进位计数制  
1.2.2 数制转换

## • 1.2.1 进位计数制

### – 1、二进制数（0、1）

- 二进制**纯整数**：1011，对应十进制数11（ $1 \times 2^3 + 1 \times 2 + 1$ ）
- 二进制**纯小数**：0.01，对应十进制数0.25（ $1 \times 2^{-2}$ ）
- 既有整数又有小数的**二进制数**：1011.01，对应十进制数11.25

### – 2、八进制数（0~7）

- 八进制**纯整数**：127，对应十进制数87（ $1 \times 8^2 + 2 \times 8 + 7$ ）
- 八进制**纯小数**：0.127，对应十进制数0.169921875（ $1 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} + 7 \times 8^{-3}$ ）
- 既有整数又有小数的**八进制数**：127.127，对应十进制数87.169921875

### – 3、十六进制数（0~F）

- 十六进制**纯整数**：127A，对应十进制数4730（ $1 \times 16^3 + 2 \times 16^2 + 7 \times 16 + 10$ ）
- 十六进制**纯小数**：0.12，对应十进制数0.0703125（ $1 \times 16^{-1} + 2 \times 16^{-2}$ ）
- 既有整数又有小数的**十六进制数**：127A.12，对应十进制数4730.0703125

### – 表1.2：十进制数与二、八、十六进制数对照表

表 1.2 十进制数与二、八、十六进制数对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	00	0
1	0001	01	1
2	0010	02	2
3	0011	03	3
4	0100	04	4
5	0101	05	5
6	0110	06	6
7	0111	07	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10

## • 1.2.2 数制转换

### – 1、二进制数与十进制数之间的转换

#### • (1) 二进制数转换为十进制数

– 纯整数:  $10110 \rightarrow 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2 = 22$

– 纯小数:  $0.101 \rightarrow 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-3} = 0.625$

– 既有整数又有小数的二进制数: 分别计算整数部分和小数部分对应的十进制数,  $10110.101 \rightarrow 22.625$

#### • (2) 十进制数转换为二进制数

– 纯整数: 除2取余法,  $45 \rightarrow 101101$

»  $45/2$ : 商=22, 余数=1

»  $22/2$ : 商=11, 余数=0

»  $11/2$ : 商=5, 余数=1

»  $5/2$ : 商=2, 余数=1

»  $2/2$ : 商=1, 余数=0

»  $1/2$ : 商=0, 余数=1

低位部分

高位部分

– 纯小数: 乘2取整法,  $0.6875 \rightarrow 0.1011$

»  $0.6875 \times 2 = 1.375$ , 整数=1

»  $0.375 \times 2 = 0.75$ , 整数=0

»  $0.75 \times 2 = 1.5$ , 整数=1

»  $0.5 \times 2 = 1$ , 整数=1

高位部分

低位部分

– 既有整数又有小数的十进制数: 分别计算整数部分和小数部分对应的二进制数,  $45.6875 \rightarrow 101101.1011$

– 有一些十进制小数不能用有限位的二进制数表示： $0.323 \rightarrow 0.01010\dots$

»  $0.323 \times 2 = 0.646$ , 整数=0

»  $0.646 \times 2 = 1.292$ , 整数=1

»  $0.292 \times 2 = 0.584$ , 整数=0

»  $0.584 \times 2 = 1.168$ , 整数=1

»  $0.168 \times 2 = 0.336$ , 整数=0

» .....

高位部分

低位部分

– 如果保留4位小数，则有： $(0.323)_{10} \approx (0.0101)_2$

## – 2、二进制数与八进制数、十六进制数之间的转换

### • (1) 二进制数与八进制数之间的转换

– 二进制数转换为八进制数：**3位 -> 1位**

»  $(11100101.01)_2 \rightarrow (011\ 100\ 101\ .\ 010)_2 \rightarrow (345.2)_8$

– 八进制数转换为二进制数：**1位 -> 3位**

»  $(56.7)_8 \rightarrow (101\ 110\ .\ 111)_2$

### • (2) 二进制数与十六进制数之间的转换

– 二进制数转换为十六进制数：**4位 -> 1位**

»  $(101110.011)_2 \rightarrow (0010\ 1110\ .\ 0110)_2 \rightarrow (2E.6)_{16}$

– 十六进制数转换为二进制数：**1位 -> 4位**

»  $(5A.B)_{16} \rightarrow (0101\ 1010\ .\ 1011)_2$

# 1.3 带符号二进制数的代码表示

1.3.1 原码

1.3.2 反码

1.3.3 补码

## • 1.3.1 原码

### – 1、小数原码的定义

- 正数：符号位为0，数值位不变； $x = +0.1011$ ，则 $[x]_{\text{原}} = 0.1011$
- 负数：符号位为1，数值位不变； $x = -0.1011$ ，则 $[x]_{\text{原}} = 1.1011$
- 小数“0”的原码有2个：0.00...00 或 1.00...00

### – 2、整数原码的定义

- 正数：符号位为0，数值位不变； $x = +1101$ ，则 $[x]_{\text{原}} = 0,1101$
- 负数：符号位为1，数值位不变； $x = -1101$ ，则 $[x]_{\text{原}} = 1,1101$
- 整数“0”的原码有2个：0,00...00 或 1,00...00

整数用“,”表示

## • 1.3.2 反码

### – 1、小数反码的定义

- 正数：符号位为0，数值位不变； $x = +0.1011$ ，则 $[x]_{\text{反}} = 0.1011$
- 负数：符号位为1，数值位取反； $x = -0.1011$ ，则 $[x]_{\text{反}} = 1.0100$ （取反：1011  $\rightarrow$  0100）
- 小数“0”的反码有2个：0.00...00 或 1.11...11

### – 2、整数反码的定义

- 正数：符号位为0，数值位不变； $x = +1001$ ，则 $[x]_{\text{反}} = 0,1001$  整数用“,”表示
- 负数：符号位为1，数值位取反； $x = -1001$ ，则 $[x]_{\text{反}} = 1,0110$ （取反：1001  $\rightarrow$  0110）
- 整数“0”的反码有2个：0,00...00 或 1,11...11



## • 1.3.3 补码

### – 1、小数补码的定义

- 正数：符号位为0，数值位不变； $x = +0.1011$ ，则 $[x]_{\text{补}} = 0.1011$
- 负数：符号位为1，数值位取反加1； $x = -0.1011$ ，则 $[x]_{\text{补}} = 1.0101$ （取反加1：1011 -> 0100 -> 0100+1 = 0101）
- 小数“0”的补码只有1个：0.00...00

### – 2、整数补码的定义

- 正数：符号位为0，数值位不变； $x = +1010$ ，则 $[x]_{\text{补}} = 0,1010$  整数用“,”表示
- 负数：符号位为1，数值位取反加1； $x = -1010$ ，则 $[x]_{\text{补}} = 1,0110$ （取反加1：1010 -> 0101 -> 0101+1 = 0110）
- 整数“0”的补码只有1个：0,00...00

# 1.4 几种常用的编码

1.4.1 十进制数的二进制编码

1.4.2 可靠性编码

1.4.3 字符编码

## • 1.4.1 十进制数的二进制编码

- **BCD码**（Binary Coded Decimal，二-十进制代码）：使用4位二进制代码对十进制数进行编码。
- 表1.3：常用的3种BCD码（**8421码**为最常用的BCD码）。

表 1.3 常用的 3 种 BCD 码

十进制字符	8421 码	2421 码	余 3 码
0	0000	0000	0011
1	0001	0001	0100
2	0010	0010	0101
3	0011	0011	0110
4	0100	0100	0111
5	0101	1011	1000
6	0110	1100	1001
7	0111	1101	1010
8	1000	1110	1011
9	1001	1111	1100

## — 1、8421码

- 4位的权值分别为：8、4、2、1
- 0~9的编码：0000 -> 0； 0001 -> 1； 0010 -> 2； 0011 -> 3； 0100 -> 4； 0101 -> 5； 0110 -> 6； 0111 -> 7； 1000 -> 8； 1001 -> 9
- 不允许出现的编码：1010、1011、1100、1101、1110、1111
- $(258)_{10} = (0010\ 0101\ 1000)_{8421\text{码}}$
- $(0001\ 0010\ 0000\ 1000)_{8421\text{码}} = (1208)_{10}$

## — 2、2421码

- 4位的权值分别为：2、4、2、1
- 0~9的编码：0000 -> 0; 0001 -> 1; 0010 -> 2; 0011 -> 3; 0100 -> 4; **0101 -> 5; 0110 -> 6; 0111 -> 7; 1000 -> 2; 1001 -> 3; 1010 -> 4; 1011 -> 5; 1100 -> 6; 1101 -> 7; 1110 -> 8; 1111 -> 9**（红色为不允许出现的编码）
- 2421码的0和9、1和8、2和7、3和6、4和5的各码位互为相反：0000（0）取反 -> 1111（9），0001（1）取反 -> 1110（8），0010（2）取反 -> 1101（7），0011（3）取反 -> 1100（6），0100（4）取反 -> 1011（5）
- $(258)_{10} = (0010\ 1011\ 1110)_{2421\text{码}}$
- $(0010\ 0001\ 1110\ 1011)_{2421\text{码}} = (2185)_{10}$

2421码的特点

### – 3、余3码

- 余3码 = 8421码 + 3
- 0~9的编码: 0(3) -> 0011; 1(4) -> 0100; 2(5) -> 0101; 3(6) -> 0110; 4(7) -> 0111; 5(8) -> 1000; 6(9) -> 1001; 7(10) -> 1010; 8(11) -> 1011; 9(12) -> 1100
- 不允许出现的编码: 0000、0001、0010、1101、1110、1111
- 余3码的0和9、1和8、2和7、3和6、4和5的各码位互为相反: 0011 (0) 取反 -> 1100 (9), 0100 (1) 取反 -> 1011 (8), 0101 (2) 取反 -> 1010 (7), 0110 (3) 取反 -> 1001 (6), 0111 (4) 取反 -> 1000 (5)
- $(256)_{10} = (0101\ 1000\ 1001)_{\text{余3码}}$
- $(1000\ 1001\ 1001\ 1011)_{\text{余3码}} = (5668)_{10}$

余3码的特点

## • 1.4.2 可靠性编码

– 可靠性编码：其作用是提高系统的可靠性。

### – 1、格雷码（Gray Code）

• 图1.4：与4位二进制码对应的典型格雷码。

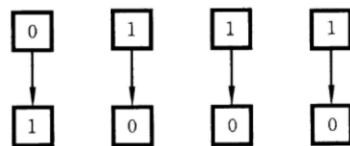
• 格雷码的特点：任意两个相邻的数，其格雷码仅有1位不同。

表 1.4 与 4 位二进制码对应的典型格雷码

十进制数	4 位二进制码	典型格雷码	十进制数	4 位二进制码	典型格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

## 二进制码的缺点

- 例如：7（**0111**）与8（**1000**）的二进制码有4位不同；但是，7（**0100**）与8（**1100**）的格雷码仅有1位不同。
- 4个电子器件构成的计数器：如果采用4位二进制码，7变为8时（0111变为1000），4个电子器件都需要变化；当电子器件的变化速度不一致时，便会产生错误代码（例如最高位变化速度最快，0111先变为1111，再变为1000；或者最低位变化速度最慢，0111先变为1001，再变为1000）。



## 格雷码的优点

- 如果采用格雷码：7变为8时（0100变为1100），只需要1个电子器件发生变化，就不会出现错误的代码。
- 格雷码的计算**：设二进制数  $B=B_{n-1}...B_i...B_0$ ，则格雷码（ $G=G_{n-1}...G_i...G_0$ ）为：

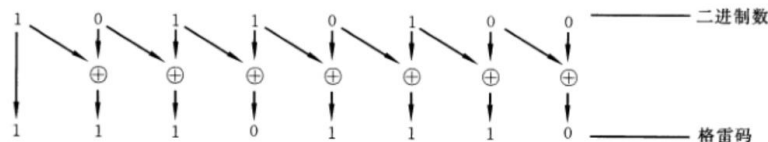
$$G_{n-1} = B_{n-1}$$

$$G_i = B_{i+1} \oplus B_i \quad 0 \leq i \leq n-2$$

例如，二进制数  $B=1011\ 0100$ ， $n=8$

格雷码  $G_7=B_7=1$ ； $G_6=B_7 \oplus B_6=1 \oplus 0=1$ ； $G_5=B_6 \oplus B_5=0 \oplus 1=1$ ； $G_4=B_5 \oplus B_4=1 \oplus 1=0$ ； $G_3=B_4 \oplus B_3=1 \oplus 0=1$ ； $G_2=B_3 \oplus B_2=0 \oplus 1=1$ ； $G_1=B_2 \oplus B_1=1 \oplus 0=1$ ； $G_0=B_1 \oplus B_0=0 \oplus 0=0$

即，格雷码  $G=1110\ 1110$



## – 2、奇偶校验码（Parity Check Code）

- 奇校验：

- 编码：原始数据=1001101；校验位=1；校验后的数据=1001101 1（校验后的数据中1的个数为奇数个）。
- 解码：校验后的数据1001101 1，传输（或存储）后，变为1000101 1（1位出错），经过检测，发现1的个数为偶数个，表示出错。

- 偶校验：

- 编码：原始数据=1001101；校验位=0；校验后的数据=1001101 0（校验后的数据中1的个数为偶数个）。
- 解码：校验后的数据1001101 0，传输（或存储）后，变为1000101 0（1位出错），经过检测，发现1的个数为奇数个，表示出错。

- 奇偶校验码只能发现1位错，但是不能纠正1位错，也不能发现2位或多位错。

不能纠正1位错误

- 1位错：（奇校验）校验后的数据1001101 1，传输（或存储）后，变为1101101 1（1位出错），经过检测，发现1的个数为偶数个，表示出错，但是并不知道是哪一位出错，因此无法纠错。

- 2位错：（奇校验）校验后的数据1001101 1，传输（或存储）后，变为1100101 1（2位出错），经过检测，发现1的个数仍然为奇数个，没有发现错误，但是实际上却出错了。

不能发现2位或多位错

- 3位错：（奇校验）校验后的数据1001101 1，传输（或存储）后，变为1100100 1（3位出错），经过检测，发现1的个数为偶数个，表示出错，但是并不知道是3位错。



- 表1.5：8421码的奇偶校验码。
- 图1.4：奇偶校验码的工作原理图。

表 1.5 8421 码的奇偶检验码

十进制数码	采用奇检验的 8421 码		采用偶检验的 8421 码	
	信息位	检验位	信息位	检验位
0	0000	1	0000	0
1	0001	0	0001	1
2	0010	0	0010	1
3	0011	1	0011	0
4	0100	0	0100	1
5	0101	1	0101	0
6	0110	1	0110	0
7	0111	0	0111	1
8	1000	0	1000	1
9	1001	1	1001	0

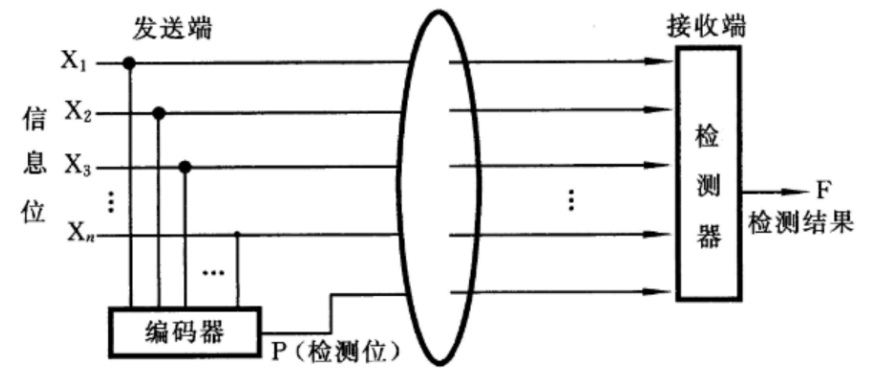


图 1.4 奇偶检验码的工作原理图

## • 1.4.3 字符编码

- **ASCII码**: America Standard Code for Information Interchange, 美国信息交换标准码, 用7位二进制码表示128个字符。
- **表1.6: 7位ASCII码编码表。**

表1.6: 7位ASCII码编码表

高3位 低4位	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	{	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	}	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

- 扩展ASCII码：采用8位二进制码表示256个字符，前128个字符与基本的ASCII码相同。

ASCII扩展表																	
(American Standard Code for Information Interchange 美国标准信息交换代码)																	
高四位 低四位		1000		1001		1010		1011		1100		1101		1110		1111	
		8		9		A		B		C		D		E		F	
		十进制	字符	十进制	字符	十进制	字符	十进制	字符	十进制	字符	十进制	字符	十进制	字符	十进制	字符
0000	0	128	Ç	144	É	160	á	176	☐	192	Ł	208	⌚	224	α	240	≡
0001	1	129	ü	145	æ	161	í	177	☐	193	┘	209	⌚	225	ß	241	±
0010	2	130	é	146	Æ	162	ó	178	☐	194	┘	210	π	226	Γ	242	≥
0011	3	131	â	147	ô	163	ú	179	☐	195	┘	211	⌚	227	π	243	≤
0100	4	132	ä	148	ö	164	ñ	180	☐	196	—	212	⌚	228	Σ	244	∫
0101	5	133	à	149	ò	165	Ñ	181	☐	197	⊕	213	⌚	229	σ	245	∫
0110	6	134	â	150	û	166	ª	182	☐	198	⌚	214	⌚	230	μ	246	÷
0111	7	135	ç	151	ù	167	º	183	☐	199	⌚	215	⌚	231	τ	247	≈
1000	8	136	ê	152	ÿ	168	¿	184	☐	200	⌚	216	⌚	232	Φ	248	°
1001	9	137	ë	153	Ö	169	¬	185	☐	201	⌚	217	⌚	233	Θ	249	•
1010	A	138	è	154	Ü	170	¬	186	☐	202	⌚	218	⌚	234	Ω	250	•
1011	B	139	ï	155	Ç	171	½	187	☐	203	⌚	219	☐	235	δ	251	√
1100	C	140	î	156	£	172	¼	188	☐	204	⌚	220	☐	236	∞	252	n
1101	D	141	ì	157	¥	173	;	189	☐	205	=	221	☐	237	φ	253	²
1110	E	142	Ä	158	Pts	174	«	190	☐	206	⌚	222	☐	238	∈	254	■
1111	F	143	Å	159	f	175	»	191	☐	207	⌚	223	☐	239	∩	255	ÿ

注：表中的ASCII字符可以用“Alt + 小键盘上的数字键”方法输入。 制作:MHL QQ:1208980380 2013/08/08

# 本章小结

- 数字信号（数字量）、模拟信号（模拟量）
- **A/D转换、D/A转换**
- 数字逻辑电路的特点
- 数字系统的层次结构（5级）
- 数字逻辑电路的类型：
  - ① 组合逻辑电路
  - ② 时序逻辑电路（同步时序逻辑电路、异步时序逻辑电路）
- **PLD、CAD、EDA**

- 二进制数、八进制数、十六进制数
- 十进制数、二进制数、八进制数、十六进制数之间的转换
- 原码、反码、补码
- BCD码（8421码、2421码、余3码）

2421码、余3码的0和9、1和8、2和7、3和6、4和5的各码位互为相反
- 格雷码（特点：任意两个相邻的数，其格雷码仅有1位不同）
- 奇偶校验码（只能发现1位错，但是不能纠正错，也不能发现2位或多位错）
- ASCII码、扩展的ASCII码

# 习题 (P18)

- 1.2
- 1.3
- 1.6 (2)
- 1.7 (2)
- 1.8
- 1.9 (1)
- 1.10
- 1.11 (1)
- 1.12 (1)

# 习题 (P18)

- 1.1 什么是模拟信号？什么是数字信号？试各举一例。
- 1.2 数字逻辑电路具有哪些主要特点？
- 1.3 数字逻辑电路可分为哪两种类型？主要区别是什么？
- 1.4 最简电路是否一定最佳？为什么？
- 1.5 把下列不同进制数写成按权展开形式：  
(1)  $(4517.239)_{10}$  (2)  $(10110.0101)_2$  (3)  $(325.744)_8$  (4)  $(785.4AF)_{16}$
- 1.6 将下列二进制数转换成十进制数、八进制数和十六进制数：  
(1) 1110101 (2) 0.110101 (3) 10111.01
- 1.7 将下列十进制数转换成二进制数、八进制数和十六进制数(二进制数精确到小数点后 4 位)：  
(1) 29 (2) 0.27 (3) 33.33
- 1.8 如何判断一个二进制正整数  $B=b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0$  能否被  $(4)_{10}$  整除？
- 1.9 写出下列各数的原码、反码和补码：  
(1) 0.1011 (2) -10110
- 1.10 已知  $[N]_{\text{补}}=1.0110$ , 求  $[N]_{\text{原}}$ ,  $[N]_{\text{反}}$  和  $N$ 。
- 1.11 将下列余 3 码转换成十进制数和 2421 码：  
(1) 011010000011 (2) 01000101.1001
- 1.12 试用 8421 码和格雷码分别表示下列各数：  
(1)  $(111110)_2$  (2)  $(1100110)_2$

# 作业样例

- 1.1 冯·诺依曼结构计算机的基本思想是什么？按此思想设计的计算机硬件系统应由哪些部件组成？它们各有何作用？

• 答：

- 数学家冯·诺依曼提出了计算机制造的三个基本原则，即采用二进制逻辑、程序存储执行（存储程序和程序控制）以及计算机由五个部分组成（运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备），这套理论被称为冯·诺依曼体系结构。
- 计算机硬件系统应由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备等组成。
- 运算器是一种用于信息加工处理的部件，它对数据进行算术运算和逻辑运算。运算器通常由算术逻辑单元（ALU, Arithmetic and Logic Unit）和一系列寄存器组成。通常将运算器一次运算能处理的二进制位数称为机器字长。现代计算机具有多个寄存器，称为寄存器组。
- 控制器是整个计算机的指挥中心，它可使计算机各部件协调工作。计算机中有两股信息在流动，一股是控制流信息，另一股是数据流信息。控制流信息的发源地是控制器，控制器产生控制流信息的依据来自3个方面：指令寄存器、状态寄存器和时序电路。
- 存储器的主要功能是存放程序和数据，目前计算机的主存储器都是半导体存储器。
- 输入设备就是将信息输入计算机的外部设备，它将人们熟悉的信息形式转换成计算机能接收并识别的信息形式。
- 输出设备就是将计算机运算结果转换成人们和其他设备能接收和识别的信息形式的设备，如字符、文字、图形、图像、声音等。



# 关于作业提交

- 作业必须**按时提交**（上传到学院的**FTP**服务器上），否则认为是迟交作业；如果期末仍然没有提交，则认为是未提交作业
  - 作业完成情况成绩=第1次作业提交情况\*第1次作业评分+第2次作业提交情况\*第2次作业评分+.....+第N次作业提交情况\*第N次作业评分
  - 作业评分：**A**（好）、**B**（中）、**C**（差）三挡
  - 作业提交情况：按时提交（**1.0**）、迟交（**0.5**）、未提交（**0.0**）
- 请采用电子版的格式（**PPT文档**）上传到**FTP**服务器上，文件名取“学号+姓名+第X次作业.pptx”
  - 例如：**11920222202406+刘济华+第1次作业.pptx**
- 下次上课时（**2024年9月9日**）会**随机抽取2位同学**到讲台上汇报作业。
- 第1次作业提交的截止日期为：**2024年9月8日晚上24点。**

**Thanks**