

信息论基础

孟 放

mengfang@cuc.edu.cn





主要内容

- ◆ 课程总体介绍
 - 🌀 教学内容
 - 🌀 教学要求和考核方式
- ◆ 绪论
- ◆ 预备知识 – 概率论





课程基本情况

- ◆ 专业基础课，32学时，2学分
- ◆ 先修课程
 - ✧ 概率论与数理统计，高等数学，线性代数
- ◆ 上课时间：1-17周
 - ✧ 周二下午 5~6节，48#A804
- ◆ 教材：《信息论与编码原理》，傅祖芸，赵建中 编著
- ◆ 参考教材
 - ✧ 《信息论 - 基础理论与应用》，傅祖芸，电子工业出版社，2005。



教学要求

- ◆ 课堂听讲：主要教学环节
 - ✧ 课堂考勤
 - ✧ 听课效率！
- ◆ 作业：及时理解和掌握所学知识的主要手段
 - ✧ 独立思考完成~ 两个作业本~ 不收纸张！
 - ✧ 每周周二上午交作业：46#302A
- ◆ 答疑及其它交流方式
 - ✧ 作业本、电子邮件、信箱、等方式
 - ✧ 答疑时间：待定





总评成绩的构成要素

- ◆ 考核方式：考勤、作业、笔试
- ◆ 平时成绩（30%）
 - ◆ 考勤、作业的要求
 - ✎ 缺1/3取消考试资格；评分原则
 - ◆ 课堂提问
- ◆ 期末考试（70%）





课程特点

- ◆ 基础理论课程
 - ✧ 公式、概念、定理较多
 - ✧ 习题量较大
- ◆ 作业的重要性
 - ✧ 牢固掌握基本理论
 - ✧ 功夫在平时 – 没有总复习课
 - ✧ 提高习题课的听课效果！





第一章 绪论

2022/2/23





第一章 绪论

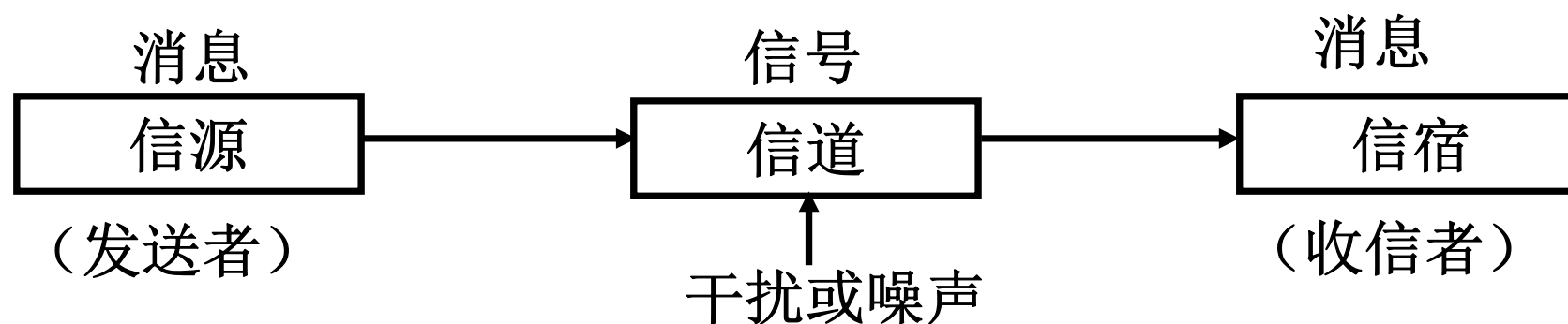
- ◆ 什么是信息
- ◆ 通信系统模型分析
- ◆ 信息论的研究内容
- ◆ 信息论的形成和发展



1、什么是信息？

- ◆ 信息论中最基本、最重要的概念
- ◆ 被广泛使用的词汇
 - ✧ 信息社会、信息学院、IT等
- ◆ 信息 – Information
 - ✧ 如何获得信息？（网络、学习、交流...）

问：能获取否？
多少？





1、什么是信息？ - 与其他概念的区别

◆ 情报？ 知识？ 信息？ 信号？ 消息？

◆ **消息**： 能被人的感觉器官所感知

✎ 消息中包含信息，是信息的载体。

✎ 具体的，非物理的。

◆ **信号**： 能量化的，可测量

✎ 适合信道传输的物理量。

✎ 可测量，可显示，可描述，携带消息，是消息的运载工具。

◆ **信息**： 到底是什么？

✎ 抽象概念！

✎ 能否定量定性分析？

信息



消息



信号





1、什么是信息？ - 信息的科学定义

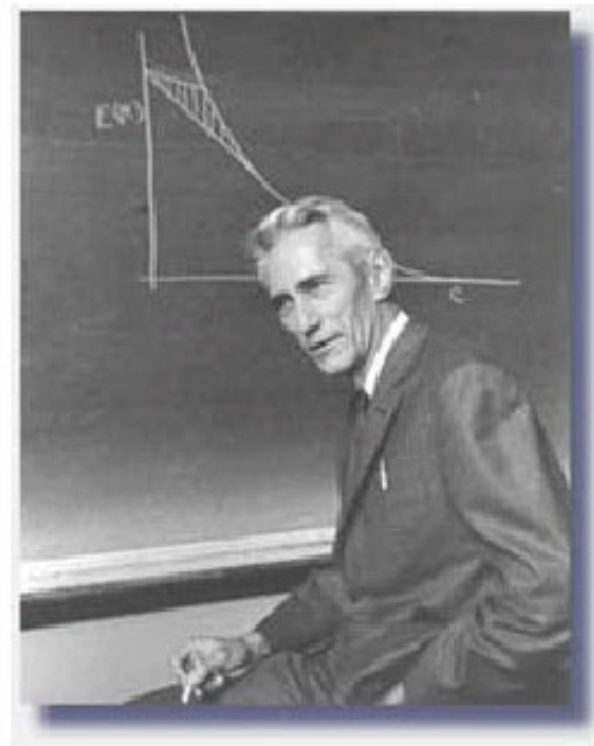
- ◆ 哈特莱（**R.V.L.Hartley**），《信息传输》，1928
 - ✧ 首先提出“信息”的概念。
- ◆ 维纳（**N. Wiener**），《控制论》，1948
 - ✧ 首先将“信息”上升到最基本概念的位置。
 - ✧ 是外部世界各种事物的运动变化着的状态及其规律的“知识”。 - 人们与外部世界互相交换的内容。
- ◆ 朗格（**G.Longe**），《信息论》，1975
 - ✧ 提出“信息就是差异”的典型代表。
- ◆ 我国信息专家钟义信：考虑主体
- ◆ **物质**、**能量**和**信息**是一切实际事物的三个基本方面



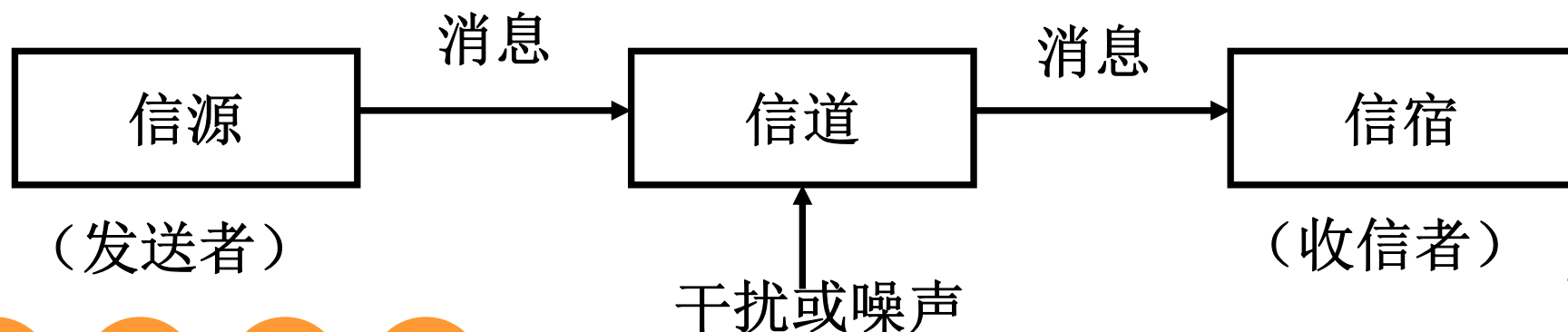
1、什么是信息？ - 香农信息

◆ 香农（C.E.Shannon），1948， 《通信的数学理论》

- 对信息作出了科学的定义，并进行了定量和定性的描述
- 信息是事物运动状态或存在方式下不确定性的描述
- 通信过程是一种消除不确定性的过程

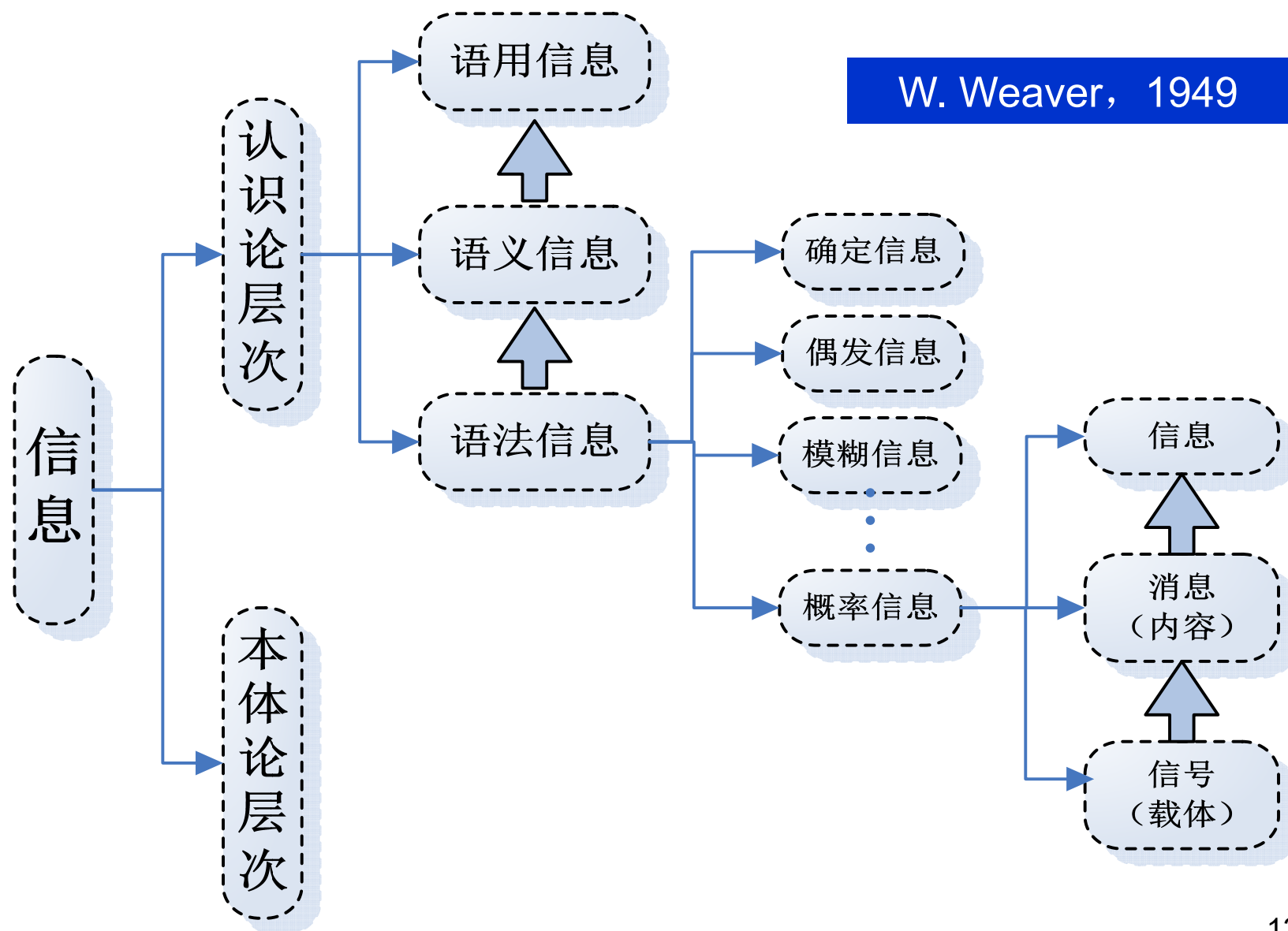


Claude E. Shannon 1916-2001





1、什么是信息？ - 信息各层次之间的关系





1、什么是信息？ - 对信息的理解

◆ 信息的本质

如何理解？

✧ 信息被接收到时，不确定性就被消除

◆ 数学语言

✧ 不确定性就是：随机性、随机事件

◆ 数学工具

✧ 概率论和随机过程来测度不确定性的大小

◆ 直观上讲

✧ 不确定性大小 〈--〉 事先猜测某随机事件是否发生地难易程度



1、什么是信息？ - 举例

◆ 实例一

✧ 猜硬币的正反面；猜骰子点数（猜大小）

◆ 实例二

✧ 九月份北京天气情况：晴间多云；多云转阴；阴有小雨；小雪；大雪。

✧ 天气预报所带来的信息量

◆ 实例三

✧ 信息的价值 --- 各种骗局



1、什么是信息？ - 信息的定义

不确定性的的大小与事件发生的概率有关



不确定性是概率的函数



因此，信息量可以表示为概率的函数

➤ 概率论中的基本概念

$$\begin{bmatrix} X \\ P(X) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_n \\ p(a_1) & p(a_2) & \cdots & p(a_n) \end{bmatrix}$$

样本空间； 概率空间

➤ 香农信息表示为：

$$I(a_i) = \log \frac{1}{p(a_i)} = -\log p(a_i)$$



1、什么是信息？ - 自信息与互信息

- ◆ 某一事物状态的不确定性的大小，与概
括空间有关。

$$\begin{bmatrix} X \\ P(X) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_n \\ p(a_1) & p(a_2) & \cdots & p(a_n) \end{bmatrix}$$

- ◆ 自信息

$$I(a_i) = \log \frac{1}{p(a_i)} = -\log p(a_i)$$

- ◆ 互信息

$$I(a_i; b_j) = \log \frac{1}{p(a_i)} - \log \frac{1}{p(a_i|b_j)}$$





1、什么是信息？ - 香农信息的特点

◆ 优点

- ✧ 有明确的数学表达式，定量化
- ✧ 与人们直观理解的信息含义比较一致
- ✧ 排除信息一次主观上的含义，同一消息对任何收信者，所得信息量相同

◆ 局限性

- ✧ 假设事物状态可以用一个以经典集合论为基础的概率模型来描述
- ✧ 没有考虑收信者的主观特性和主观意义
 - ◆ 同样内容在不同时代；个人背景不同；发生环境不同；等等.....



1、什么是信息？ – 信息的特点

- ◆ 信息、物质、能量统一于事物一身；
 - ◆ 信息具有普遍性、无限性、动态性、时效性和相对独立性；
 - ◆ 信息具有可传递性、可转换性、可复制性、可存储性、可分割性等，共享性！
 - ◆ 信息可度量。
-
- ◆ 语法、语义、语用信息 – 钟义信教授，超越通信系统范畴。





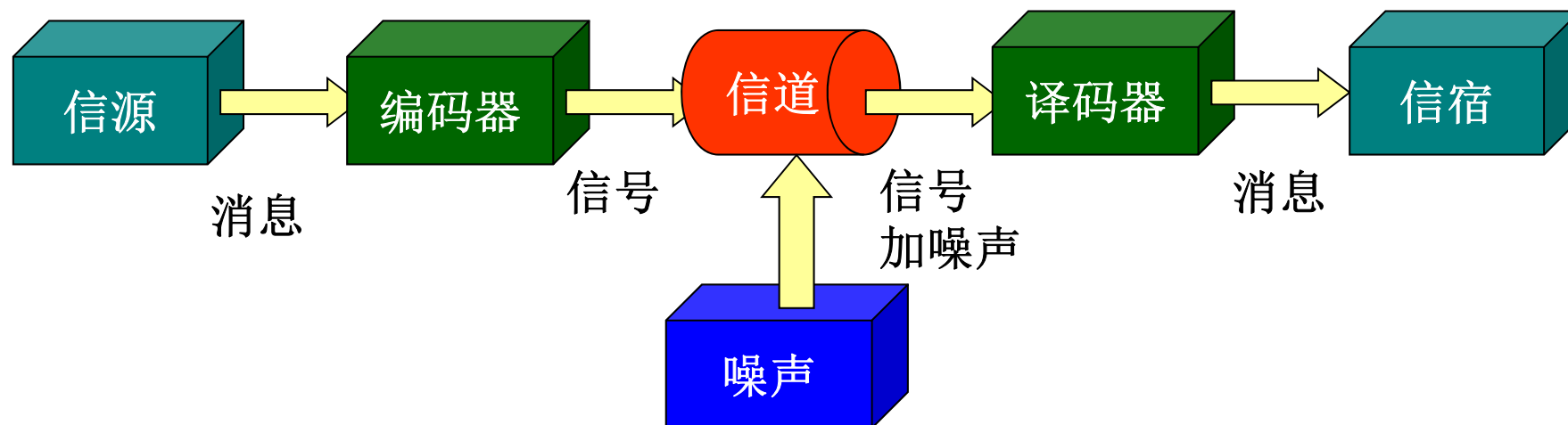
主要内容

- ◆ 什么是信息
- ◆ 通信系统模型分析
- ◆ 信息论的研究内容
- ◆ 信息论的形成和发展





2、通信系统的基本模型



- ◆ 通信系统形式上传输的是**消息**，实质上传输的是**信息**。
- ◆ 研究信息传输和处理的共同规律。
- ◆ **【香农】通信的基本问题**：在一点精确或近似地恢复/再现另一点所选择的**消息**。
 - 🌀 通信系统的三个性能指标：（传输）有效性、可靠性、安全性。



2、通信系统的基本模型 - 信源和信宿

- ◆ 信源 - 产生消息或消息序列的源
 - ✧ 离散信源和连续信源
 - ✧ 有记忆信源和无记忆信源
 - ✧ 平稳信源和非平稳信源
- ◆ 信宿 - 接收信息的对象（人或机器）
 - ✧ 信源和信宿可处于不同的地点或存在于不同时刻
 - ✧ 香农信息论不研究信宿
 - ◆ 考虑信宿特点可进一步压缩码率，提高系统性能





2、通信系统的基本模型 - 编码器

- ◆ 功能：将消息变成适合信道传输的物理量(信号)，并确保传输的有效性和可靠性。
- ◆ 编码器包括：
 - ✧ 信源编码器 - 提高通信系统的有效性
 - ✧ 信道编码器 - 提高信息传输的可靠性
 - ✧ 调制器 - 转为适合信道传输要求的信号





2、通信系统的基本模型 - 关于编码器？

- ◆ 信源编码去除冗余度，信道编码却加上冗余度，为什么要这么做？
- ◆ 什么是“冗余”？
- ◆ 编码的目的？





2、通信系统的基本模型 - 信道

◆ 定义

✧ 将载荷消息的信号从发送端送到接收端的媒介或通道，具有传播信号和储存信号的作用

◆ 分类

- ✧ 狭义信道 - 电缆、无线电波、光盘等
- ✧ 广义信道 - 其他传输媒介
- ✧ 无噪信道、有噪信道 - 噪声源的统计特性是划分信道的依据



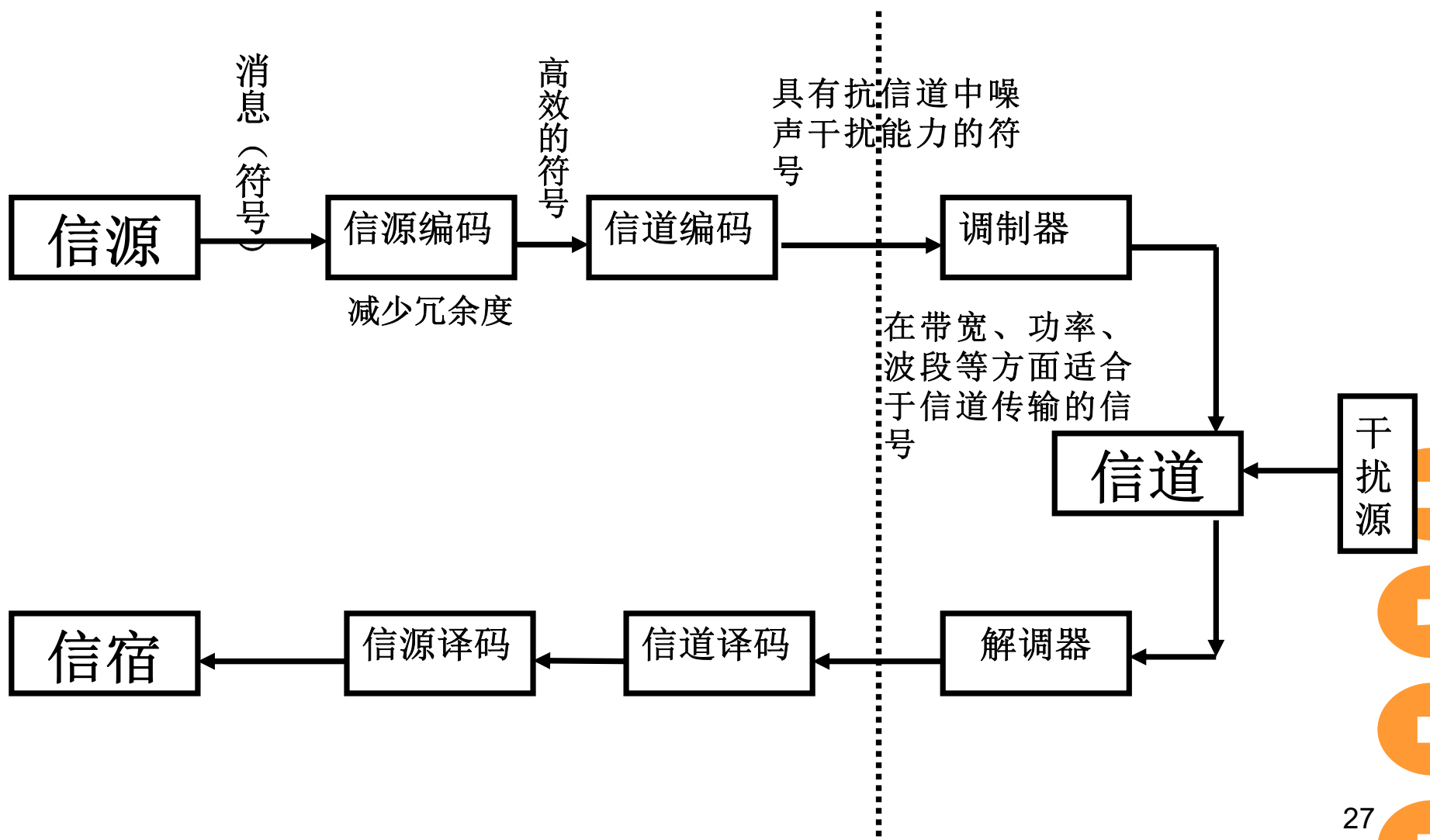


2、通信系统的基本模型 - 译码器

- ◆ 编码器的逆操作
- ◆ 功能：从接收到的信号中恢复消息
- ◆ 译码器包括
 - ✧ 解调器
 - ✧ 信道译码器
 - ✧ 信源译码器



2、通信系统的基本模型 - 信息的传送过程





提高通信系统性能的措施

- ◆ 提高有效性和提高可靠性经常会发生矛盾 - **Tradeoff** !

✧ 有效性

- ◆ 信源编码
- ◆ 调制技术

✧ 可靠性

- ◆ 信道编码

- ◆ 安全性: 信息加密技术
- ◆ 认证性: 验证消息的正确完整性





主要内容

- ◆ 什么是信息
- ◆ 通信系统模型分析
- ◆ 信息论的研究内容
- ◆ 信息论的形成和发展





3、信息论的研究内容

- ◆ 狭义信息论

- ✧ 经典信息论（香农信息理论）

- ✧ 信息测度、信道容量、信源和信道编码等

- ◆ 一般信息论：工程信息论

- ✧ 信息传输和处理

- ✧ 香农理论、维纳理论、保密理论等

- ◆ 广义信息论

- ✧ 新兴的信息科学理论

- ✧ 包括所有与信息相关的自然和社会领域

- ◆ 模式识别、心理学、机器智能等

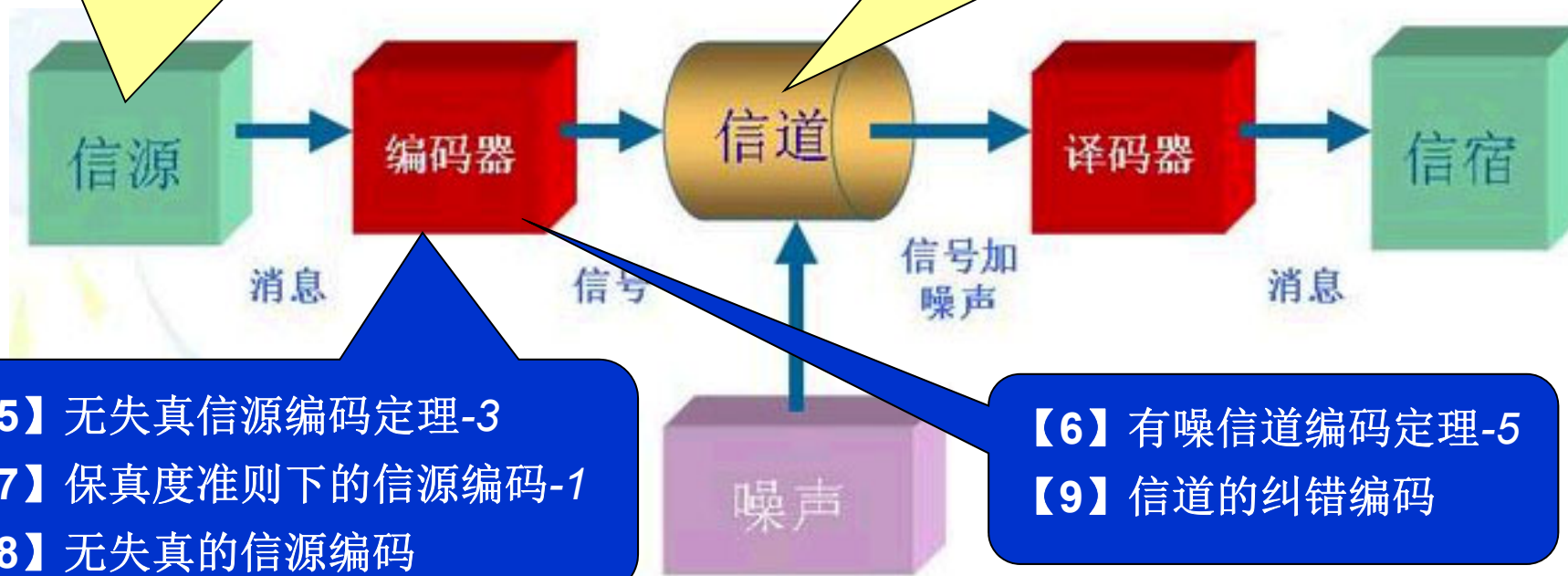
3、信息论的研究内容

【2】离散信源及其信息测度-2.5

【4】波形信源-1

【3】离散信道及其信道容量-2.5

【4】波形信道



【5】无失真信源编码定理-3

【7】保真度准则下的信源编码-1

【8】无失真的信源编码

【6】有噪信道编码定理-5

【9】信道的纠错编码

研究目的：找到信息传输过程中的共同规律，以提高信息传输的可靠性、有效性、保密性和认证性，实现信息传输系统最优化。



3、信息论的研究内容 - 信息论的特点

- ◆ 以概率论、随机过程为基本研究工具
- ◆ 研究的是通信系统的整个过程，而不是单个环节，并以编、译码器为重点
- ◆ 关心的是最优系统的性能和怎样达到这个性能（并不具体设计系统）
- ◆ 不研究信宿（信宿自身及所处环境）





主要内容

- ◆ 什么是信息
- ◆ 通信系统模型分析
- ◆ 信息论的研究内容
- ◆ 信息论的形成和发展





4、信息论的形成和发展 - 技术背景

- ◆ 人类发展中的信息技术
- ◆ 当时通信理论与技术已有较大的发展，存在的通信技术包括：电报（**Morse, 1844**）、电话（**Bell, 1876**）、调幅广播（**1900's 早期**）、单边带调制（**Carson, 1922**）、电视（**1925-1927**）、调频广播（**Armstrong, 1936**）、脉冲编码调制（**Reeves, 1937-1939**）、声码器（**Dudley, 1939**）、扩频通信（**1940's**）等。
- ◆ 随着工程技术的发展，理论的研究在逐渐深化





4、信息论的形成和发展 - 理论背景

◆ 1948年以前,

- ✧ 奈奎斯特(*H.Nyquist*)证明了信号传输速率与信道带宽成正比
- ✧ 哈特莱提出将消息考虑为代码或单语的序列 S^N
- ✧ 维纳将随机过程和数理统计的观点引入通信和控制系统中
- ✧



4、信息论的形成和发展 - 现代信息论的基础

- ◆ 1948年，香农在贝尔系统技术杂志上发表了两篇有关通信的数学理论的文章
- ◆ 香农理论的核心
 - ✧ 用概率测度和数理统计的方法系统地讨论了通信的基本问题
 - ✧ 揭示了在通信系统中采用适当的编码后能够实现高效率和高可靠地传输信息
 - ✧ 得出了信源编码和信道编码定理。从数学观点看，这些定理是最优编码的存在定理。但从工程观点看，这些定理不是结构性的，不能从定理的结果直接得出实现最优编码的具体途径。但它们给出了编码的性能极限，在理论上阐明了通信系统中各种因素的相互关系，为人们寻找最佳通信系统设计提供了重要的理论依据



4、信息论的形成和发展 - 香农信息理论

- ◆ 理论的数学完善

- ✧ 费诺不等式，香农信道编码逆定理的证明，信道容量的迭代算法

- ◆ 编码理论的发展（信源编码和信道编码的构造方法）

- ✧ 信源编码的发展

- ◆ 唯一可译变长码的Kraft不等式，无失真信源编码方法（Huffman, Shannon, Fano, Arithmetic, LZW）
 - ◆ 限失真信源编码：率失真函数及率失真编码定理，预测，矢量量化，变换编码系统

- ✧ 信道编码的发展

- ◆ 基于代数学（特别是有限域理论）的线性分组码，BCH, RS
 - ◆ 卷积码，turbo码（卷积和随机交织器的结合）





4、信息论的形成和发展 – 信息理论发展

◆ 香农信息理论（狭义信息论）的发展

✧ 网络信息理论

- ◆ 多元接入信道的信道容量区，相关信源在多元接入信道的传输问题，广播信道的容量区等

✧ 保密理论-密码学理论

- ◆ 香农“保密通信的信息理论”
- ◆ 线性代数、初等数论、矩阵、近世代数

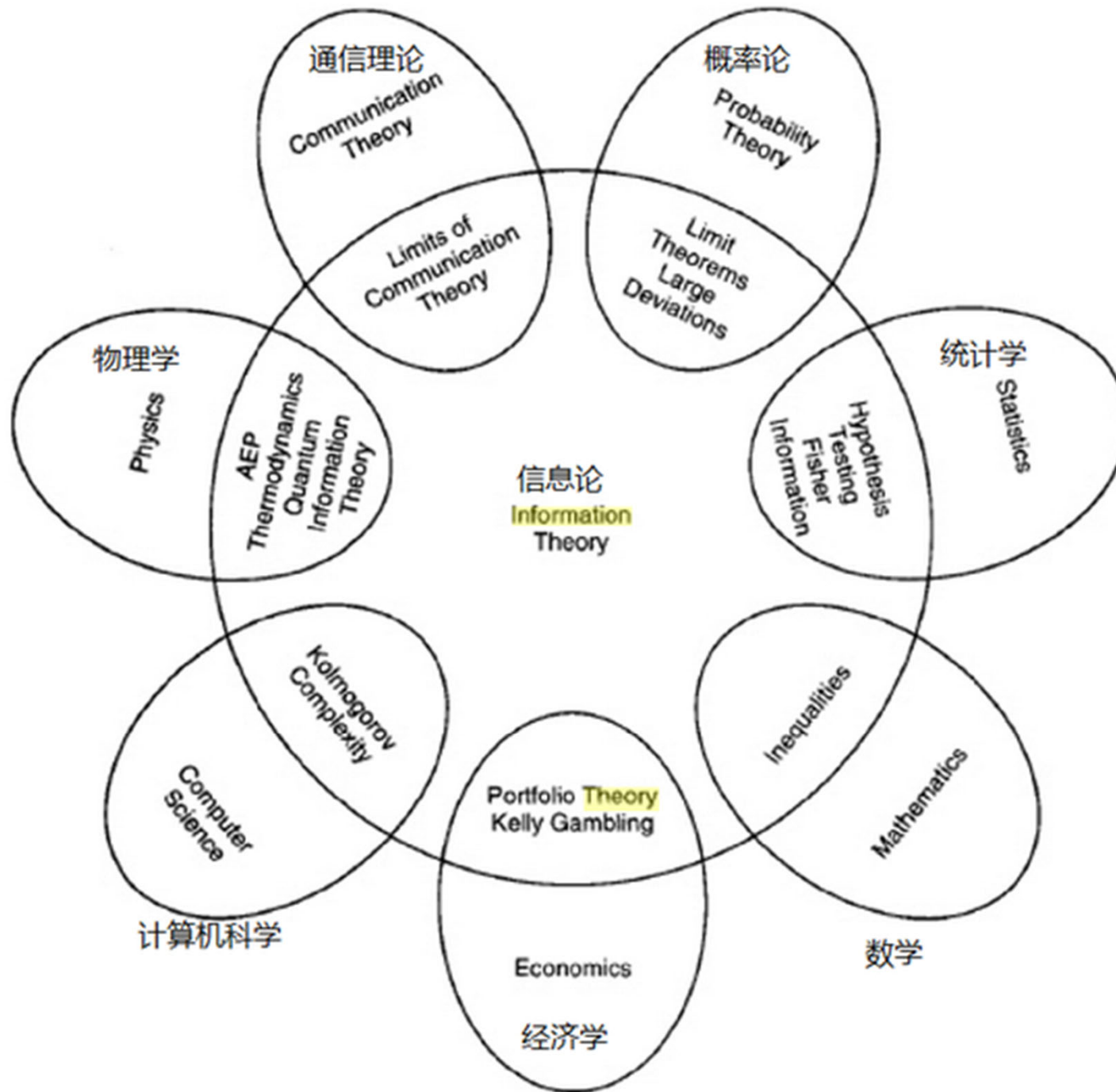
◆ 广义信息论

✧ 新兴的信息科学理论

✧ 包括所有与信息相关的自然和社会领域

- ◆ 语言学、生物学、医学等领域
- ◆ 模式识别、心理学、机器智能等







第一章 要点总结

- ◆ 深刻理解：信息
 - 🌀 什么是信息？与消息、信号的区别
- ◆ 掌握：通信系统的基本模型
 - 🌀 信息论的研究内容
- ◆ 了解：信息论的发展概况





概率论知识回顾 – 预备知识

◆ 符号约定

✧ 大写字母 X, Y, Z 等表示随机变量/消息集合。

✧ 小写字母 $x_i, y_j, x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m$ 表示随机变量的具体取值，即，随机事件。

◆ 概率空间

✧ 离散随机变量 X 的概率空间为：

$$\begin{bmatrix} X \\ P(X) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ p(x_1) & p(x_2) & \cdots & p(x_n) \end{bmatrix}$$

$$0 \leq p(x_i) \leq 1 \quad \sum_{i=1}^n p(x_i) = 1$$



概率论知识回顾 – 预备知识（续）

◆ 联合概率和条件概率

✧ 离散随机变量的联合概率空间为

$$\begin{bmatrix} XY \\ P(XY) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 y_1 & \cdots & x_i y_j & \cdots & x_n y_m \\ p(x_1 y_1) & \cdots & p(x_i y_j) & \cdots & p(x_n y_m) \end{bmatrix}$$

$$0 \leq p(x_i y_j) \leq 1$$
$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i y_j) = 1$$

✧ 由联合概率求边缘概率

$$p(x_i) = \sum_{j=1}^m p(x_i y_j) \quad p(y_j) = \sum_{i=1}^n p(x_i y_j)$$

✧ 条件概率

$$p(y_j | x_i) = \frac{p(x_i y_j)}{p(x_i)} \quad p(x_i | y_j) = \frac{p(x_i y_j)}{p(y_j)}$$



概率论知识的回顾 - 预备知识 - 练习

- ◆ 已知随机变量的联合概率分布 $p(x_i y_j)$ 如下所示，求条件概率分布 $p(y_j | x_i)$

$p(x_i y_j)$		y_j		
		0	1	2
x_i	0	1/4	1/18	0
	1	1/18	1/3	1/18
	2	0	1/18	7/36

此类题目的解题格式要求：表格

注意：不要逐个罗列概率！





作业

- ◆ 什么是信息？请比较信息、信号、消息三个概念的区别和联系。
- ◆ 通信系统模型及各部分的主要功能。
- ◆ 思考：以实际的信息传输系统为例，说明系统构成及各部分的作用。
- ◆ 参考文献：
 - 🔗 A Mathematical Theory of Communication





人类发展中的主要信息技术

返回

- ◆ 完全代表了人类在那个阶段最高的科学发展水平

时间	主要信息技术
距今一万年左右	语言
距今四五千年	文字
距今三千年	造纸术
距今小于一千年	印刷术
两百年内	电报、电话、广播电视
20世纪60年代	现代信息技术

