



通信原理

鲁东大学信息与电气工程学院

人工智能系 臧睦君

E-mail: zangmj@ldu.edu.cn



关于本课程

- ❖ 通信原理为学科理论基础课程，要求重点掌握通信系统的基本概念和分析方法，以及信息传输的基本原理；熟悉各种通信技术的基本特点以及性能；在此基础上，研究通信系统的设计，了解通信发展方向。
- ❖ 信息与通信工程学科研究生入学考试课程之一
- ❖ 先修课程：《高等数学》 《信号与系统》
《概率论与随机过程》 等



教材与参考书

教材:

樊昌信等《通信原理》（第7版）国防工业出版社

- ◆ 《通信原理》（第1版）1980.7. 70万字，477页；
- ◆ 《通信原理》（第2版）1984.6. 556千字 375页；
- ◆ 《通信原理》（第3版）1988.12. 445千字 300页；
- ◆ 《通信原理》（第4版）1995.10. 625千字 421页；
- ◆ 《通信原理》（第5版）2001.5. 633千字 425页；
- ◆ 《通信原理》（第6版）2006.9. 736千字 497页；
- ◆ 《通信原理》（第7版）2012.11. 715千字 466页。



教材与参考书

主要参考书:

曹志刚等 《现代通信原理》 清华大学出版社

周炯槃等 《通信原理》 北邮出版社

冯玉珉等 《通信系统原理》 清华、北京交大

曹金玉等 《通信系统原理》 吉林大学出版社

杨鸿文 桑林 《通信原理习题集》 北邮出版社



教 学 内 容

- ❖ 第一章 绪论
- ❖ 第二章 确知信号
- ❖ 第三章 随机过程
- ❖ 第四章 信道
- ❖ 第五章 模拟调制系统
- ❖ 第六章 数字基带传输系统
- ❖ 第七章 数字带通传输系统
- ❖ 第九章 数字信号的最佳接收
- ❖ 第十章 信源编码

教学安排

- ❖ 共**80学时**（**4.5学分**）：理论**64**+实验**16**
- ❖ 学习方式：课堂教学/课后作业/实验
- ❖ 考核方式：**考试（闭卷）**
- ❖ 成绩评定：理论 + 实验

总成绩 = 课堂成绩*	<input type="text" value="0.7"/>	+ 实践成绩*	<input type="text"/>	+ 实验成绩*	<input type="text" value="0.3"/>
课堂成绩 = 平时成绩*	<input type="text" value="0.2"/>	+ 期中成绩*	<input type="text"/>	+ 期末成绩*	<input type="text" value="0.8"/>
实践成绩 = 平时成绩*	<input type="text"/>	+ 期中成绩*	<input type="text"/>	+ 期末成绩*	<input type="text"/>
实验成绩 = 平时成绩*	<input type="text" value="0.5"/>	+ 期中成绩*	<input type="text"/>	+ 期末成绩*	<input type="text" value="0.5"/> ×




教学安排

■ 软件实验部分

- 1、模拟调制（4课时，第8周）
- 2、数字调制（6课时，第13周）

■ 硬件实验部分

- 1、数字基带信号码型变换（2课时，第10周）
- 2、无线电技术综合实验（2课时，第14周）
- 3、抽样定理与脉冲编码调制（2课时，第16周）



第1章 绪论



本章作业

P_{15}

1-2

1-3

1-5

1-7

1-8



主要内容



1.1 通信的基本概念

1.2 通信系统模型

1.3 通信系统分类与通信方式

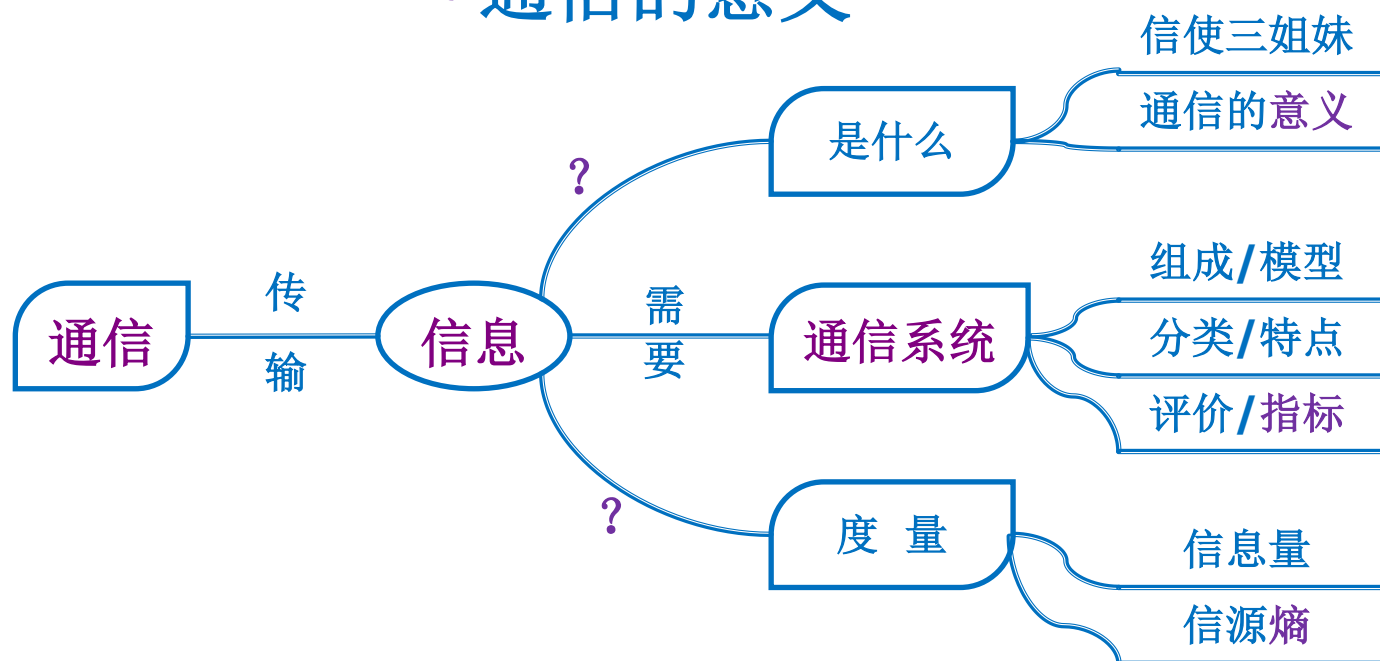
1.4 信息及其度量

1.5 通信系统主要性能指标

1.6 本章小结

内容主线

内容主线 { 信使三姐妹
通信的历程
通信的意义



信使三姐妹—信息 消息 信号

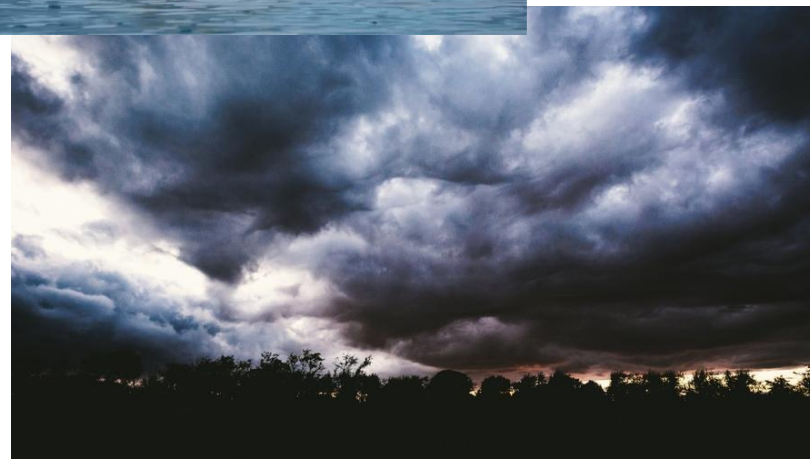
信息是万事万物存在的本质，存在于世界万物的运动和变化中



“全球变暖”

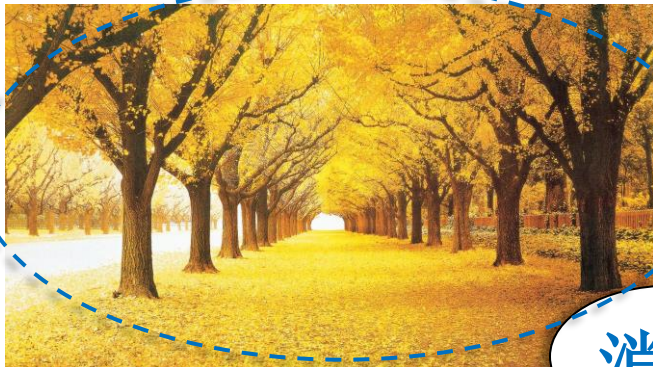


“春来啦”



“暴风雨就要来了”

信使三姐妹—信息 消息 信号



“秋来了”

消息

物华天宝，龙光射牛斗之墟；
人杰地灵，徐孺下陈蕃之榻。

落霞与孤鹜齐飞，秋水共长天一色。



信息必须依附于一定的物质形式而存在！



“停或行”



都包含着 “各种各样的信息”

信息无处不在！

信使三姐妹—信息 消息 信号

消息

—— 信息的物质载体，信息的外在表现形式。

- 连续消息：（状态连续） 语言、图像、温度 等
- 离散消息：（状态可数） 文字、数据、符号 等

信息

—— 消息的内涵，即消息中包含的有效内容。

同样的信息
可用不同形式
的消息来表述。

例：“晴 和 雨”



语音

信息的价值在于传播！

信使三姐妹—信息 消息 信号

信号

—— 消息的传输载体；消息的电表示形式。

- 模拟信号：参量取值连续（不可数、无限个）
- 数字信号：参量取值离散（可数、有限个）

①

如何将
消息转换成
电信号



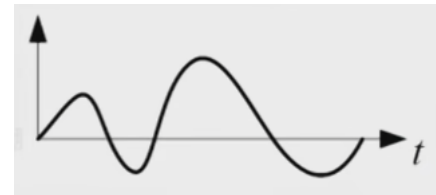
②

如何区分
模拟信号
数字信号



信使三姐妹—信息 消息 信号

答① 消息 \rightleftarrows 电信号



声音
图像

话筒
摄像机

音频信号
视频信号

消息 \longrightarrow 传感器 \longrightarrow 电信号

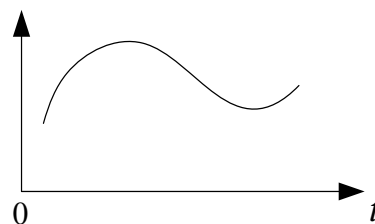
信使三姐妹—信息 消息 信号

答② 模拟信号 和 数字信号的区分

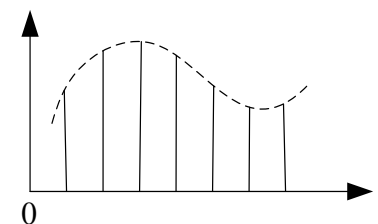
取值**连续**
(无穷多)

取值**离散**
(有限个)

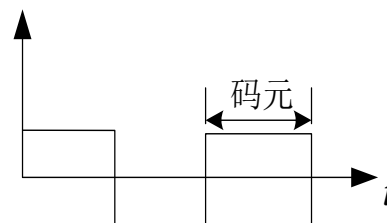
区分原则：
信号的
该参量
的取值
是否连续



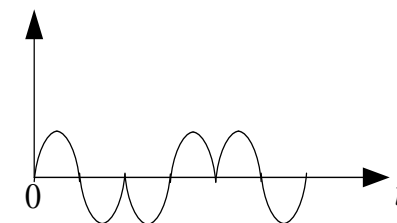
(a) 话音信号



(b) 抽样信号



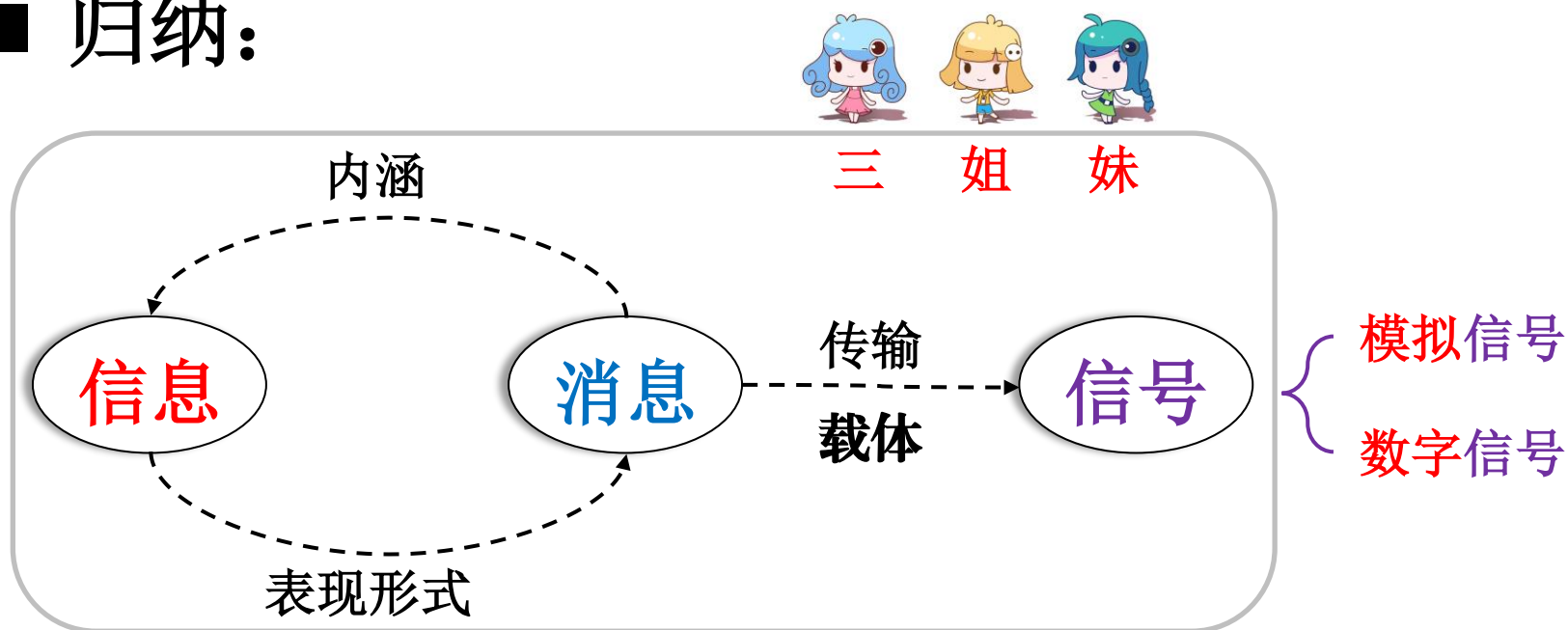
(c) 二进制信号



(d) 2PSK信号

信使三姐妹—信息 消息 信号

■ 归纳：



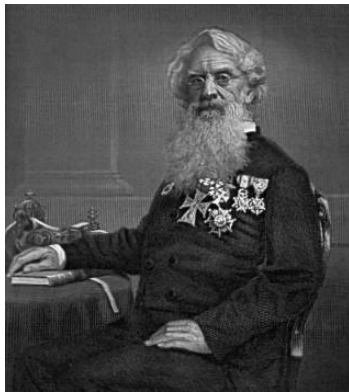
通信 —— 利用**电信号**传输**消息**中所包含的**信息**。

通信的历程

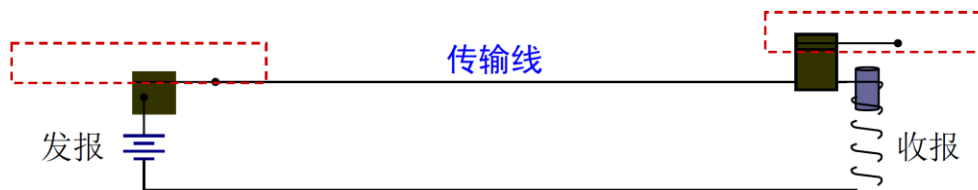
电报

- 1837年 莫尔斯 发明了有线电报，开创了电信新时代

—— 数字通信的开始

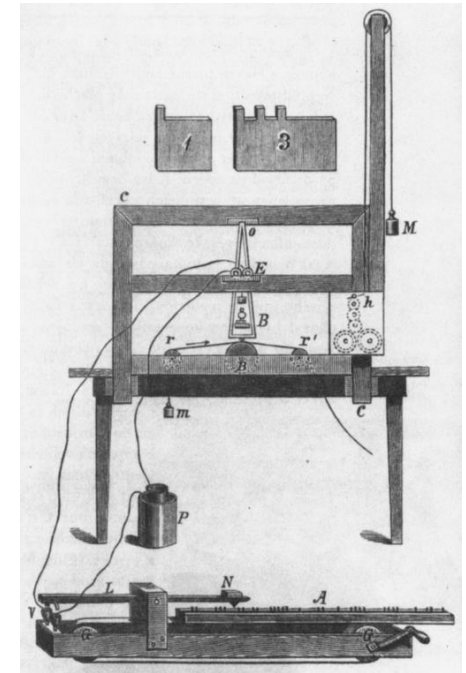


(1791-1872)



1844年莫尔斯发送了世界上第一封电报：

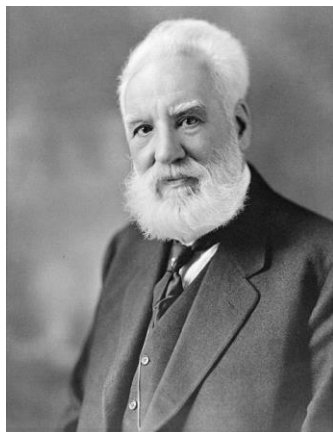
“上帝啊，你创造了何等的奇迹”



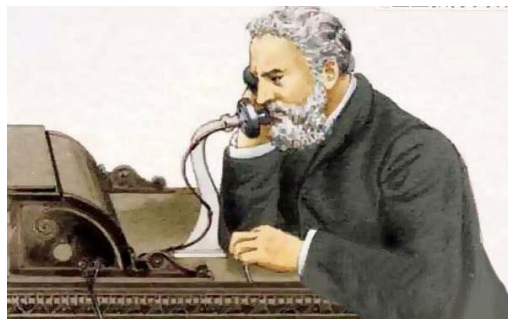
通信的历程

电话

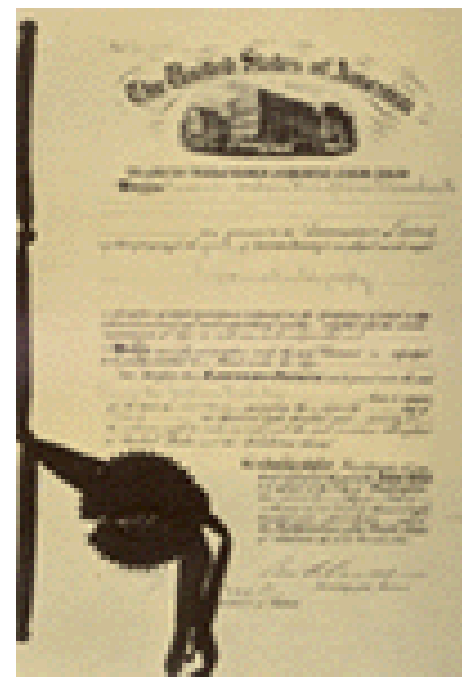
- 1876年 贝尔发明了有线电话 —— 模拟通信的先驱



(1847-1922)



1876 年，贝尔在演示使用电话



贝尔获得电话
的专利证书

通信的历程

电磁波

- **1864年** 麦克斯韦 预言**电磁波**的存在，

传递信息的无形信使

1877年 赫兹 实验证实

无线电

- **1901年** 马可尼 利用**电磁波**，实现横跨大西洋的无线电报通讯，使**无线电**进入**实用**阶段。

电子管

- **1906年** 德弗雷斯特 发明**真空三极管**，使**无线电**通信，获得**普及**应用。

“空中帝国的王冠”



通信的历程

广播

- **1918年** 阿姆斯特朗 发明了超外差接收机
调幅（AM）无线电广播问世。

电视

- **1936年** 英国广播电视台（BBC）开播。
- **1948年** 香农发表了信息论的奠基之作《通信的数学理论》，推动了整个通信领域的数字化革命。



通信的历程

- **1961-1970** 立体声调频广播（**1961**）；集成电路；**卫星通信**步入实用阶段……
- **1971-1980** 演示蜂窝电话系统；个人计算机出现；大规模IC时代到来；**光纤通信**系统投入商用……
- **1981-1990** **IBM PC**机出现；传真机广泛使用……
卫星全球定位系统（**GPS**）完成部署（**1989**）……
- **1991-2000** **GSM移动通信**系统投入商用；**Internet**和**www**普及；掌上电脑；数字蜂窝…**信息时代**…



通信的历程

- **2001-** 基于微处理器的数字信号处理；**物联网**（2008）
数字电视及**个人通信**时代到来；3G, 4G, **5G**；**量子通信**…

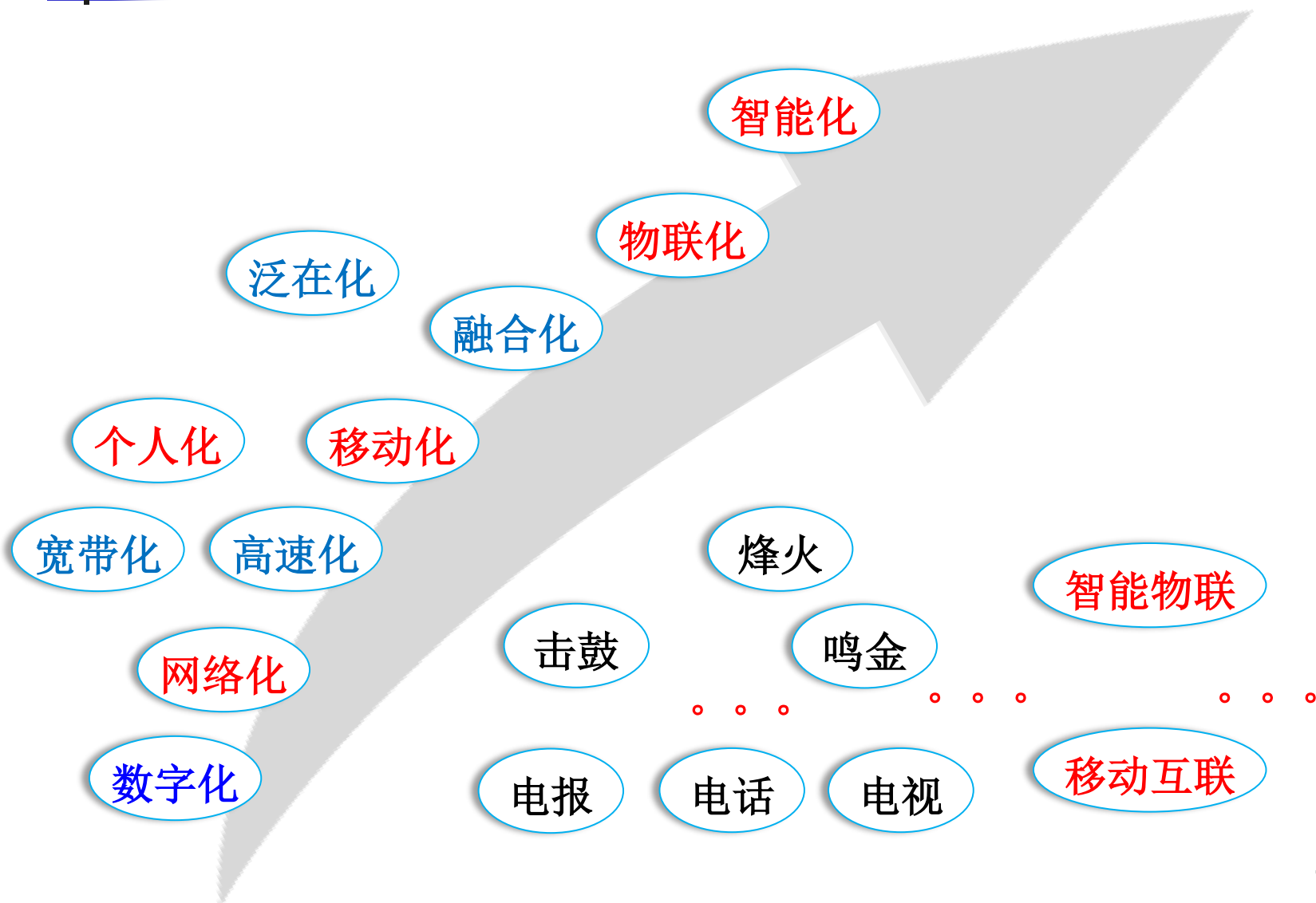
主题“创造更好的未来”

- **2018.2.26** 世界移动通信大会，在西班牙巴塞罗那举行。
带来了**5G**技术、**物联网**、**人工智能**、**大数据**和**云计算**等领域 的最新成果。

主题“智联万物”

- **2019。**。**。** **5G商用**舞台的巨幕正在徐徐拉开。**。**。**。**
中国华为走在了世界前列。**。**。**。**

通信的历程



通信的意义

- 通信的目的在于传输信息。

信息的意义？

控制论
——
奠基人



(1894~1964)

“信息就是信息，既非物质，也非能量”

—— Wiener 《控制论与社会》 1950年

“信息是用来消除随机不确定的东西”

—— Shannon 《通信的数学理论》 1948年



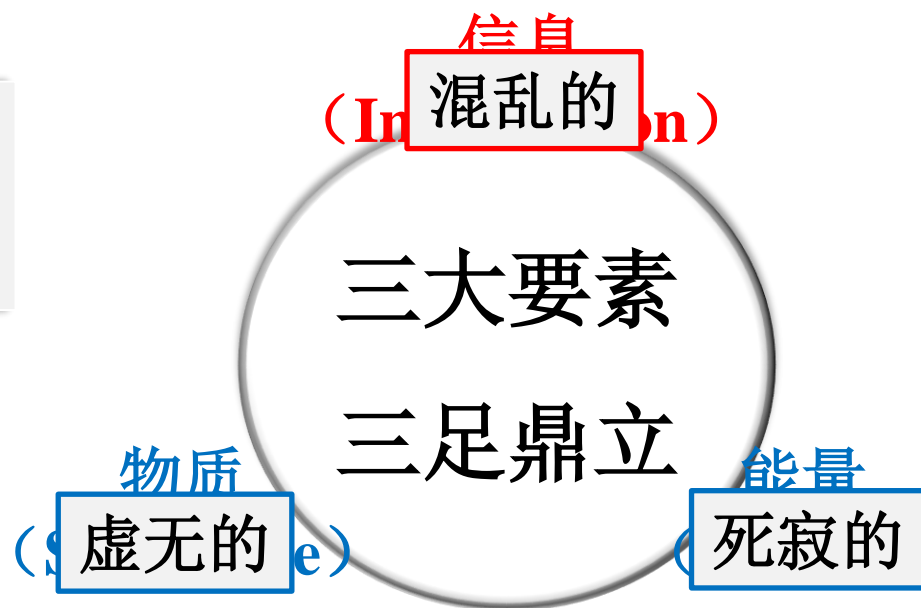
1916~2001

信息论
——
创始人

通信的意义

信息要借助于物质和能量才能产生/传输/存储/处理和感知。

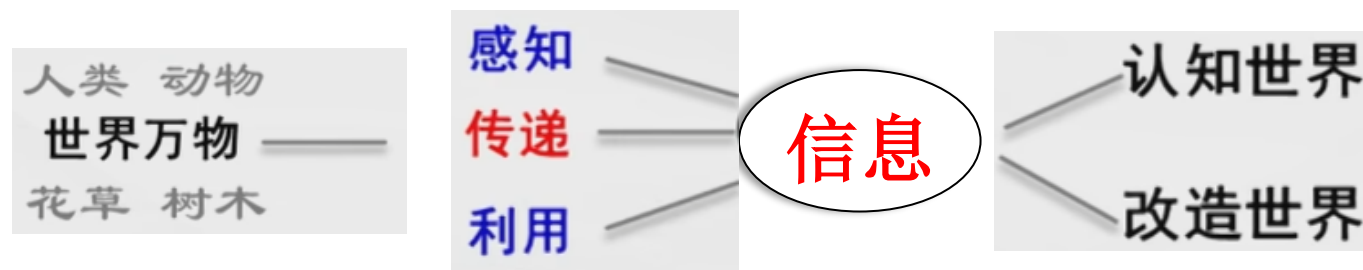
物质和能量要借助于信息来表述和控制。



【参考《信息论与编码理论》，王育民、李晖编】

通信的意义

- 信息的价值在于传播，而非信息本身。——通信



- 通信正在深刻地改变着人们的生活方式。
- 通信对经济/文化/教育/军事/政治产生重大变革和深远影响。



通信的意义

思考题：

举例说明 信息和通信对
经济、文化、教育、军事、政治
等事务的意义和重要性。



主要内容



1.1 通信的基本概念

1.2 通信系统模型

1.3 通信系统分类与通信方式

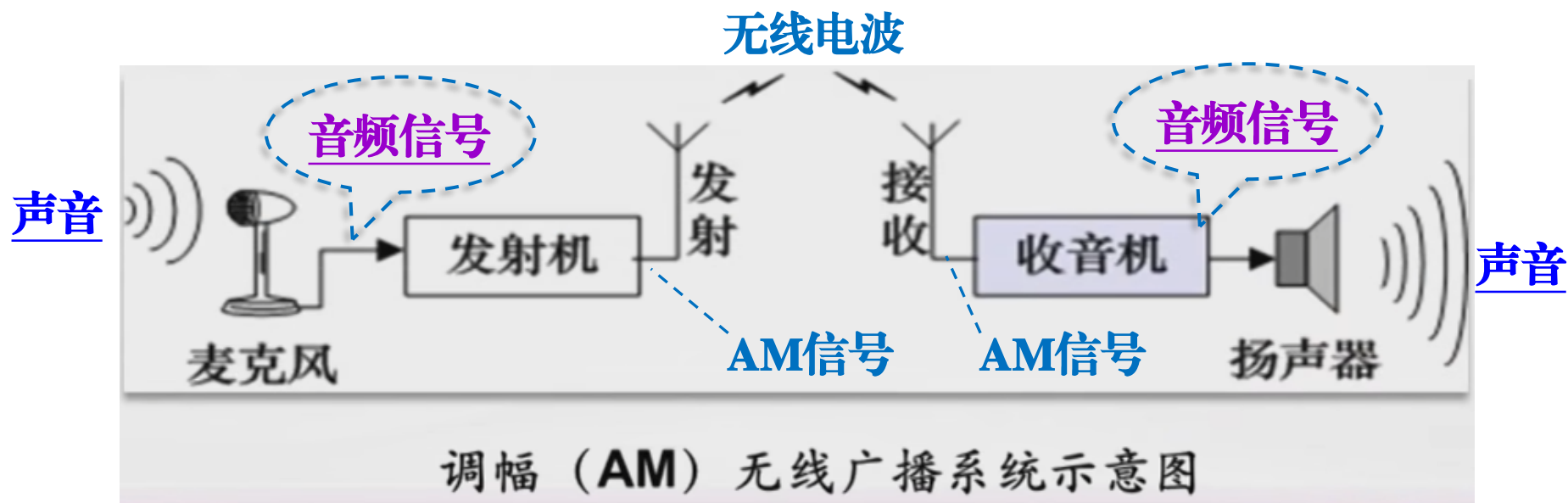
1.4 信息及其度量

1.5 通信系统主要性能指标

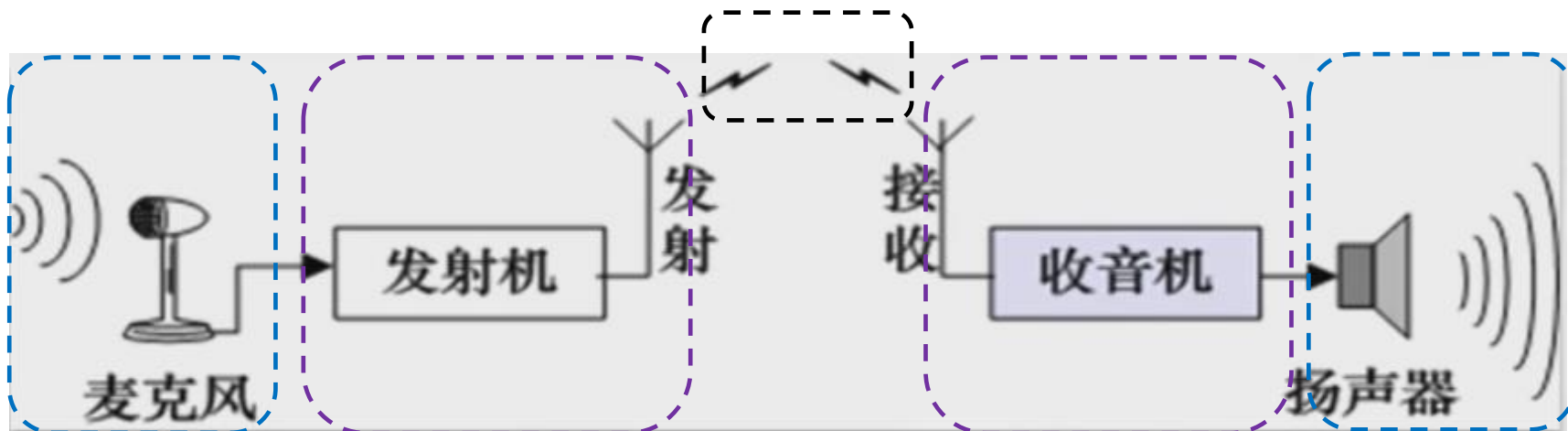
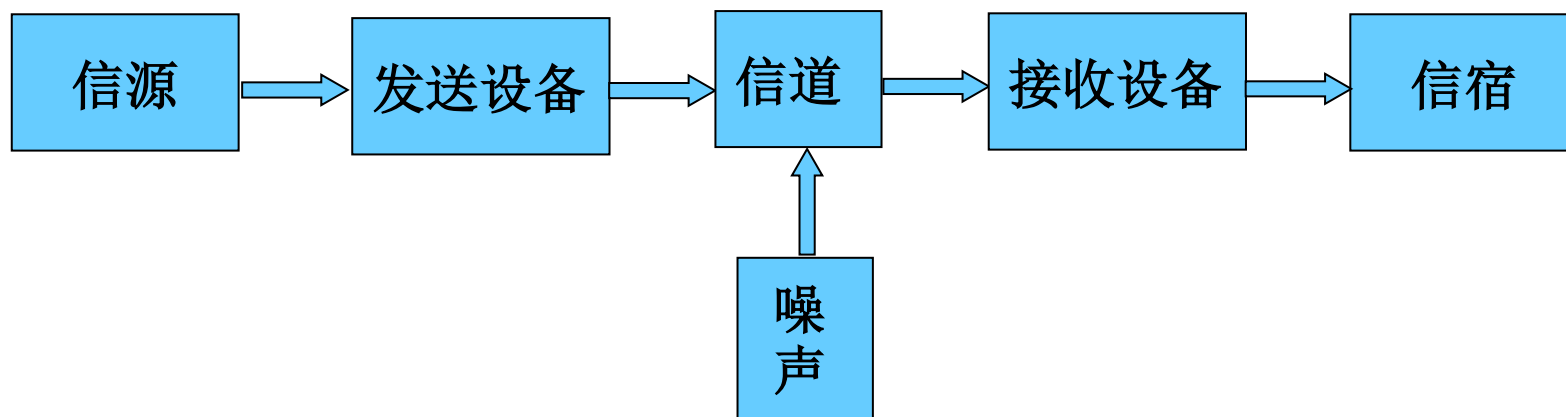
1.6 本章小结

1.2.1 通信系统一般模型

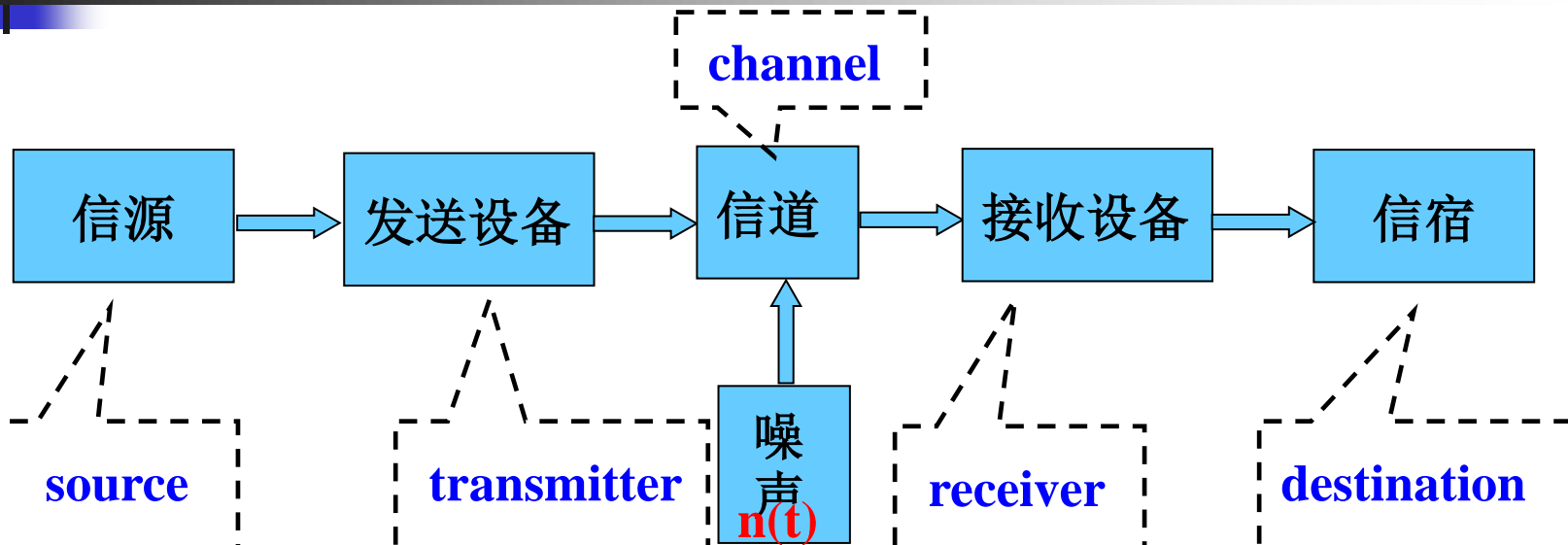
通信系统——实现通信（信号的产生、发送、传输、接收和恢复）过程所需的一切技术设备（包括信道）的总体。



1.2.1 通信系统一般模型



1.2.1 通信系统一般模型 ——反映了通信系统的共性



消息 → 电信号
如电话机的话筒

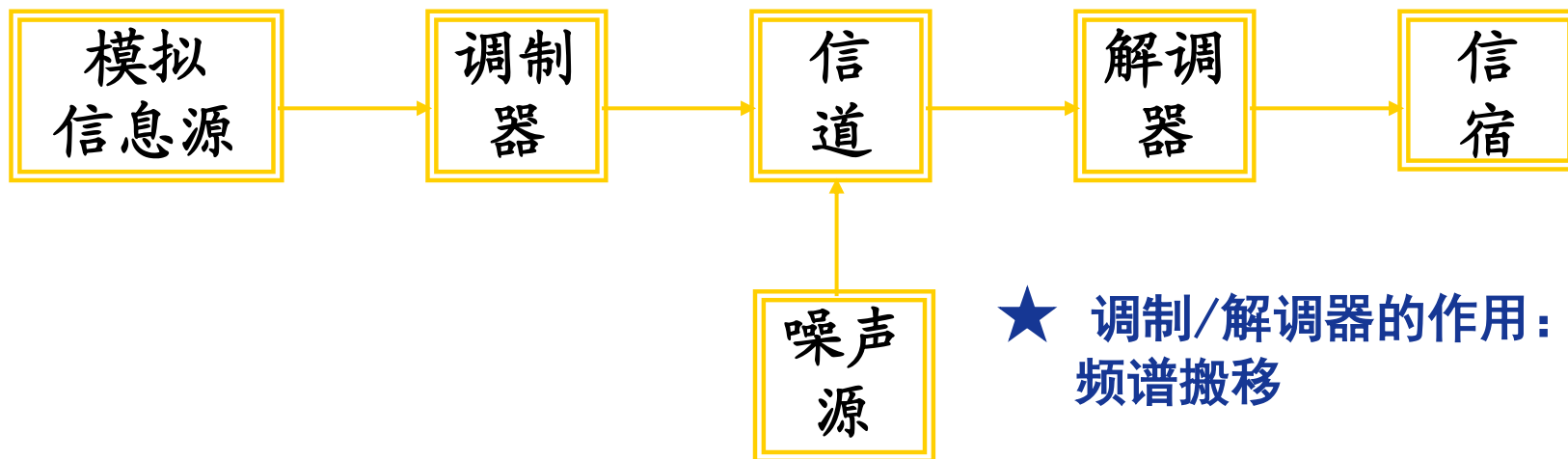
适合在信道中
传输的信号
如编码、调制

与发送设备
的功能相反
如译码、解调

电信号 → 消息
如电话机的听筒

1.2.2 模拟通信系统模型

■ 概念：利用模拟信号来传递信息的通信系统。



■ 研究：

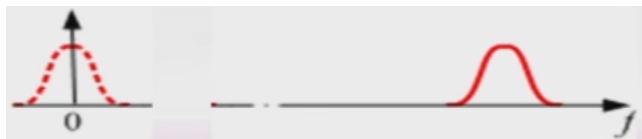
原始电信号

- 模拟消息 \longleftrightarrow 消息信号 (基带信号)

基带传输

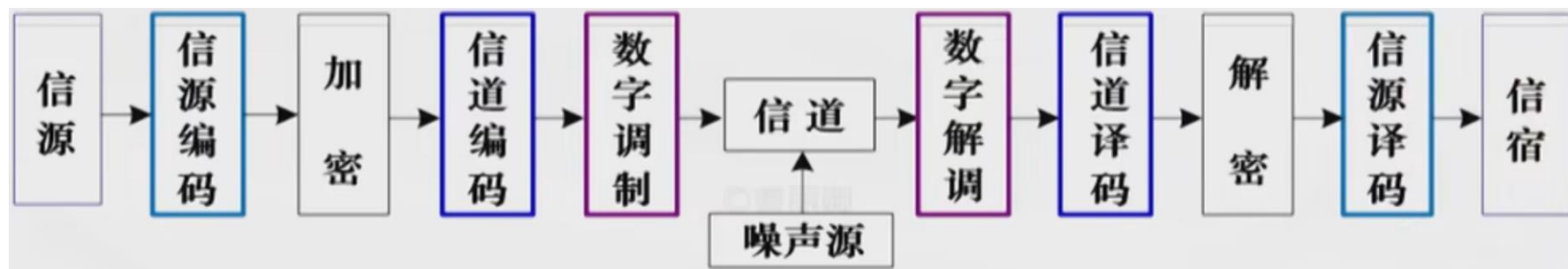
- 基带信号 \longleftrightarrow 已调信号 (带通信号)

带通传输
频带传输
调制传输



1.2.3 数字通信系统模型

❖ 概念：利用数字信号来传递信息的通信系统。



❖ 研究： 编码 译码 调制 解调 同步

信源编码：

- 模/数转换
 - 压缩编码
- 提高有效性

信道编码：

- 冗余编码
- 提高可靠性

- 调制：把信息寄托到载波上
- 解调：从已调信号中卸载信息



1.2.4 数字通信的特点

■ 优点：

- 抗噪声能力强，且噪声不积累；
- 传输差错可控；
- 易于处理、变换、存储；
- 易于集成；易于加密；
- 易于将来自不同信源的信号综合传输
- 。 。 。

■ 缺点：

- 可能需要较大的传输带宽；
- 对同步要求高。



主要内容



1.1 通信的基本概念

1.2 通信系统模型

1.3 通信系统分类与通信方式

1.4 信息及其度量

1.5 通信系统主要性能指标

1.6 本章小结

1.3.1 通信系统的分类

按信道信号 特征分类	按传输媒质 分类	按传输方式 分类	按通信业务 分类	按照工作波段 分类
模拟通信 数字通信	有线通信 无线通信	基带传输 带通传输	电话、数据、 图像通信等	长波、中波、短 波、微波、紫外 红外、可见光等

- 按复用方式划分：频分、时分、码分。。。

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

- 同一个通信系统可以分属于不同分类。

如 AM广播系统：中短波、模拟的、带通（调制）传输系统。

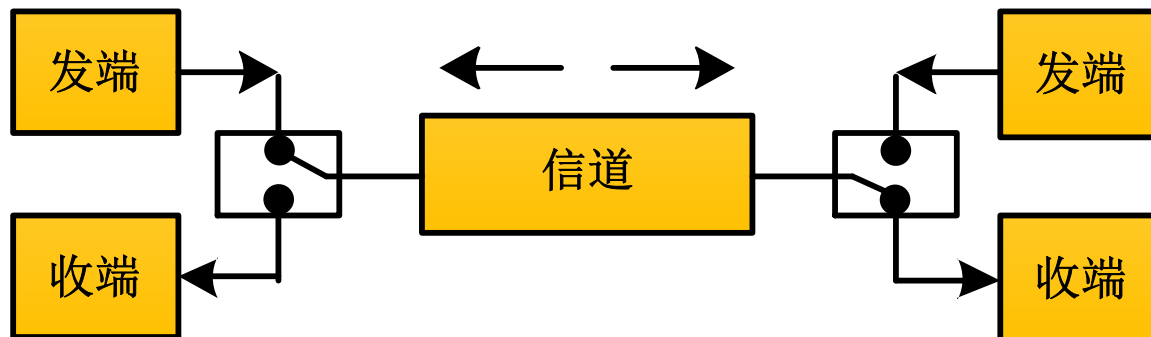
1.3.2 通信方式

■ 按传输方向和时间分：单工、半双工、全双工

- 单工通信 (**Simplex**)：单向，如遥测、遥控、寻呼

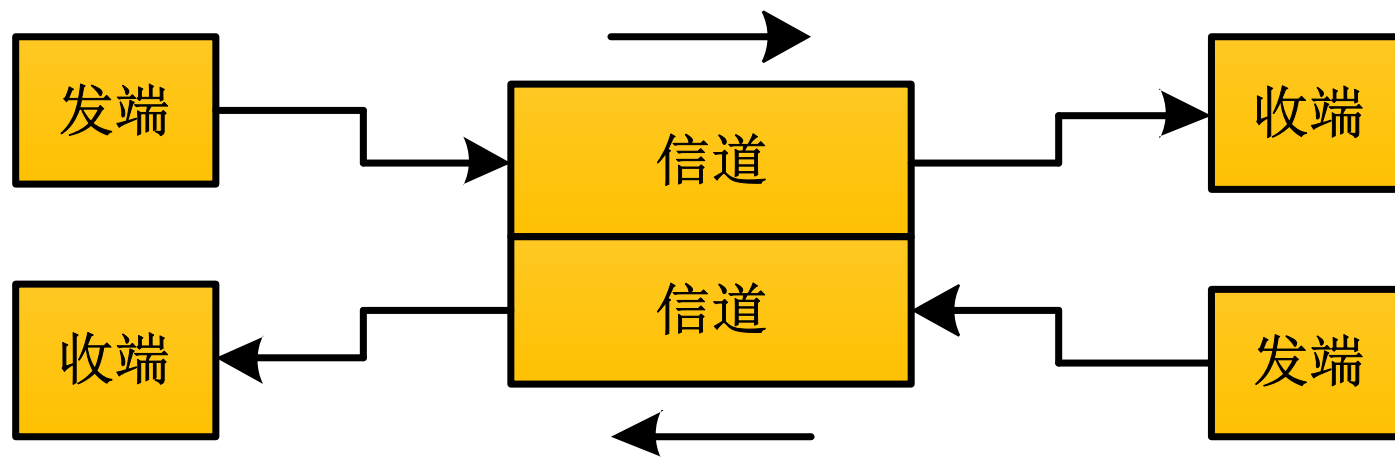


- 半双工通信 (**Half Duplex**)：双向、不同时，如对讲机



1.3.2 通信方式

- 全双工通信 (**Full Duplex**)：双向、同时，如电话

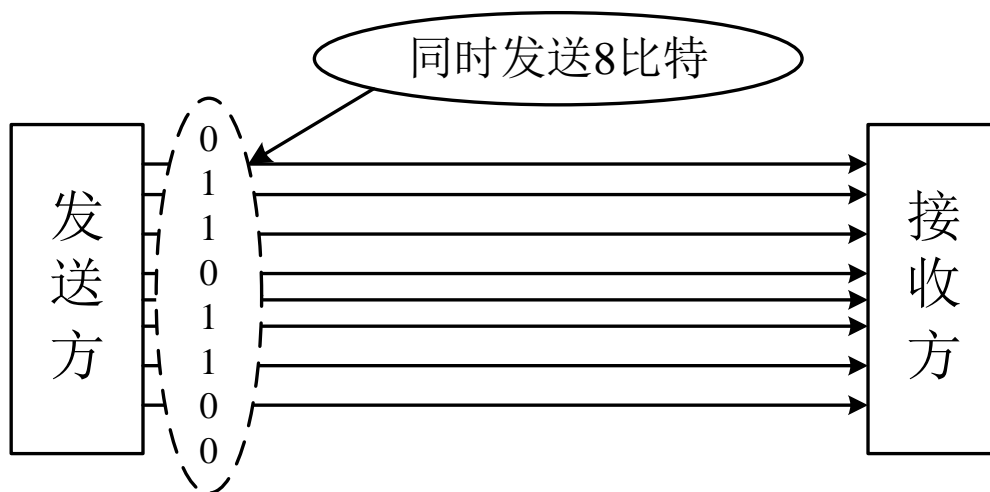


1.3.2 通信方式

■ 按数字码元传输**时序**分：并行、串行

- **并行传输**：将代表信息的数字信号码元序列以成组的方式在两条或两条以上的并行信道上同时传输。

适用：
近距离通信。



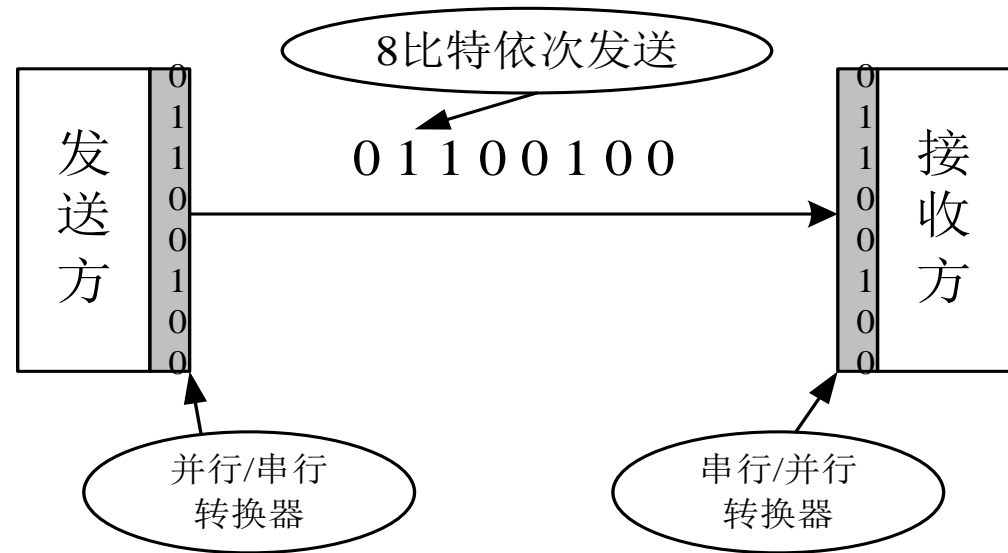
优点：节省传输时间，速度快，不需要字符同步措施

缺点：需要 n 条通信线路，成本高

1.3.2 通信方式

- **串行传输：**将数字信号码元序列以串行方式一个码元接一个码元地在一条信道上传输

适用：
远距离通信。



优点：只需一条通信信道，节省线路铺设费用

缺点：速度慢，需要外加码组或字符同步措施



主要内容



1.1 通信的基本概念

1.2 通信系统组成

1.3 通信系统分类与通信方式

1.4 信息及其度量

1.5 通信系统主要性能指标

1.6 本章小结

信息及其度量(1)

❖ 信息：消息中包含的有效内容

❖ 信息的度量：信息量

■ 消息 x 中所含信息量 I 与消息出现概率 $P(x)$ 的关系

◆ 信息量是概率的函数 $I(x) = I [P(x)]$

$$I \propto \frac{1}{p(x)}$$

◆ $P(x) = 1, I = 0; P(x) = 0, I = \infty$

◆ 事件独立，信息具有相加性

$$I(x_1, x_2, \dots, x_n) = I(x_1) + I(x_2) + \dots + I(x_n)$$

信息及其度量(2)

❖ 1. 离散消息的信息量 I

$$I(x) = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x)$$

- $a=2$ ，信息量的单位为比特(bit)
- $a=e$ ，信息量的单位为奈特(nat)
- $a=10$ ，信息量的单位为哈特莱 (Hartley)

$I(x)$ 称自信息



信息及其度量 (3)

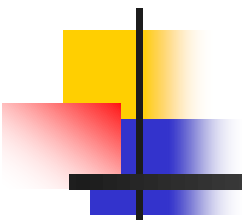
❖ 2. 等概率出现的离散消息的度量

【例1-1】设一个二进制离散信源，以相等的概率发送数字“0”或“1”，则信源每个输出的信息含量为

$$I(0) = I(1) = \log_2 \frac{1}{1/2} = \log_2 2 = 1 \quad (\text{b})$$

若有 M 个等概率波形（ $P = 1/M$ ），且每一个波形的出现是独立的，则传送 M 进制波形之一的信息量为

$$I = \log_2 \frac{1}{P} = \log_2 \frac{1}{1/M} = \log_2 M \quad (\text{b})$$



【例1-2】离散信息源{0, 1, 2, 3}, 每个符号独立等概出现。

求

20102013021300120312010032100023102002010312032100120210

的信息量。

● 解：分析消息

■ 0~23次

■ 2~13次

■ 共57个符号

■ 1~14次

■ 3~7次

$$I = 57 \cdot \log_2 4 \text{ bit} = 114 \text{ bit}$$

信息及其度量(4)

❖ 3. 非等概率情况下的离散消息的度量

设离散信息源是一个由 M 个符号组成的符号集, 且

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_M \\ P(x_1) & P(x_2) & \cdots & P(x_M) \end{bmatrix}, \quad \text{且} \sum_{i=1}^M P(x_i) = 1$$

■ 各符号 x_1, x_2, \dots, x_M 所包含的信息量分别为

$$\log_2 \frac{1}{P(x_1)}, \log_2 \frac{1}{P(x_2)}, \dots, \log_2 \frac{1}{P(x_M)}$$



信息及其度量(4)

- 每个符号所含平均信息量（信息量的统计平均值）

$$H(x) = E[I(x)]$$

$$= P(x_1) \left[\log_2 \frac{1}{P(x_1)} \right] + P(x_2) \left[\log_2 \frac{1}{P(x_2)} \right] + \cdots + P(x_M) \left[\log_2 \frac{1}{P(x_M)} \right]$$

$$= \sum_{i=1}^M P(x_i) \left[\log_2 \frac{1}{P(x_i)} \right] \quad (bit / \text{符号})$$

$$= - \sum_{i=1}^M P(x_i) [\log_2 P(x_i)] \quad (bit / \text{符号})$$

离散信息源的熵
(*bit*/符号)

【例1-3】离散信息源{0, 1, 2, 3}, 概率分别为{1/2, 1/4, 1/8, 1/8}, 每个符号独立出现。求

20102013021300120312010032100023102002010312032100120210
的信息量。

● 解：分析消息

■ 0~23次

■ 2~13次

■ 共57个符号

■ 1~14次

■ 3~7次

● 方法一：该消息的信息量

$$I = -23\log_2 \frac{1}{2} - 14\log_2 \frac{1}{4} - 13\log_2 \frac{1}{8} - 7\log_2 \frac{1}{8} = 111(bit)$$

● 方法二：用熵的概念计算

$$\begin{aligned} H &= -\frac{1}{2}\log_2 \frac{1}{2} - \frac{1}{4}\log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8}\log_2 \frac{1}{8} - \frac{1}{8}\log_2 \frac{1}{8} \\ &= 1.75(bit / 符号) \end{aligned}$$

● 信息量

$$I = 57 \times H = 99.75(bit)$$

● 可见

- 两种算法结果有误差
- 随着消息序列长度的增加，两种计算误差将趋于零。
- 当消息很长时，用熵的概念来计算比较方便。

信息及其度量 (5)

❖ 最大熵

0	1
0.1	0.9

0.469

0	1
0.4	0.6

0.971

0	1
0.5	0.5

1

每个符号等概率出现时，信息源的熵有最大值。



信息及其度量(6)

❖ 4. 连续消息的平均信息量

连续消息的信息量可用概率密度来描述。

可以证明，连续消息的平均信息量（相对熵）为

$$H(x) = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log_a f(x) dx$$

式中， $f(x)$ 一连续消息出现的概率密度。



主要内容



1.1 通信的基本概念与发展简史

1.2 通信系统的组成

1.3 通信系统的分类与通信方式

1.4 信息及其度量

1.5 通信系统的主要性能指标

1.6 本章小结

概述

评价通信系统性能的指标有很多，包括有效性、可靠性、适应性、标准性、保密性、经济性及可维护性等。最重要的是：

❖ **有效性**：是指传输一定信息量时所占用的信道资源（带宽或时间）。 . . .

“速度”
问题

❖ **可靠性**：是指接收信息的准确程度。 . . .

“质量”
问题

一、模拟通信系统的质量指标

- ❖ **有效性：**模拟通信系统的有效性用有效传输带宽来衡量。同样的消息采用不同的调制方式，则需要不同的频带宽度。频带越窄，有效性越好。

调制方式	AM	DSB	SSB	VSB	FM
传输带宽	$2f_m$	$2f_m$	f_m	略大于 f_m	$2(m_f+1)f_m$

几种模拟调制信号的带宽



一、模拟通信系统的质量指标

❖ **可靠性**：模拟通信系统的可靠性用接收端输出信噪比来衡量。信噪比越大，通信质量越高。

信噪比： S/N =信号功率/噪声功率

$$(S/N)_{\text{dB}} = 10 \log (S/N)$$

(以分贝为单位)

对信噪比的要求：

语音通信 $\geq 20\text{dB}$;

图像通信 $\geq 40\text{dB}$



二、数字通信系统的质量指标

有效性：数字通信系统的有效性用**传输速率和频带利用率**衡量。

1. 传输速率

❖ **码元传输速率 R_B ：**单位时间传送码元的数目。单位：波特（*Baud*）。

$$R_B = \frac{1}{T} (B)$$

❖ **信息速率 R_b ：**单位时间传输的信息量，单位：比特/秒（*bit/s*）或*bps*为单位。

码元速率与信息速率的关系

✦ 在二进制下，码元速率与信息速率在数值上相等，
即 $R_b = R_{B2}$ ，单位不同；

✦ 在 M 进制下：

$$R_b = R_B \log_2 M \text{ (bit / s)}$$

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 M} \text{ (Baud)}$$

若码元传输速率为 R_B ，
信源的熵为 H ，则

$$R_b = R_B H$$

2. 频带利用率：单位带宽内的传输速率。

$$\eta = \frac{R_B}{B} \text{ (B / Hz)} \quad \text{或} \quad \eta = \frac{R_b}{B} \text{ (bit / s} \cdot \text{Hz)}$$

真正衡量数字通信系统传输效率的是频带利用率。

【例1-4】一传输系统每秒传送1200个码元，对等概发生的离散信息源，若采用四进制，其传信率为多少？若采用十六进制，其传信率又为多少？

解：该系统的波特率为 $R_B = 1200B$

采用四进制，则每个码元携带2比特信息

传信率 $R_{b4} = 2400bit/s$

采用十六进制，则每个码元携带4比特信息，

传信率 $R_{b16} = 4800bit/s$ 。

即： $R_b = R_B \log_2 M$

【例1-5】已知二进制数字信号在2min内共传送了72 000个码元，(1) 问其码元速率和信息速率各为多少？(2) 如果码元宽度不变，但改为八进制数字信号，则其码元速率为多少？信息速率又为多少？

● 解：(1) $R_B = 72000 / 120 = 600(B)$

$$R_b = R_B \log_2 M = 600(b/s)$$

(2) $R_B = 72000 / 120 = 600(B)$

$$R_b = R_B \log_2 M = 600 \times 3 = 1800(b/s)$$

可靠性：用差错率衡量

- ❖ 误码率：指码元在传输系统中被传错的概率，

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}}$$

- ❖ 误信率（误比特率）：指码元所携带的信息量在传输过程中被丢失的概率，

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$$

- ❖ 在传输二进制码时有： $P_b = P_e$

差错率越小，通信的可靠性越高。

【例1-6】已知某八进制数字通信系统的信息速率为12000 b/s，在收端半小时内共测得出现了216个错误码元，试求系统的误码率。

● 解： $R_{b8} = 12000b / s$

$$R_{B8} = R_{b8} / \log_2 8 = 4000B$$

$$P_e = \frac{216}{4000 \times 30 \times 60} = 3 \times 10^{-5}$$

【例1-7】 8路并行传输，每路一个单位调制信号波的时间长度 **$T=0.013s$** ，采用二进制，求传输的比特率。

● **解：** 波特率为 **$R_B=1/T=75\text{Baud}$**

1路传输的比特率为

$$R_b = R_B \log_2 M = 75 \text{ (bit/s)}$$

8路传输的比特率为

$$75 \times 8 = 600 \text{ (bit/s)}$$



通信系统的基本矛盾——有效性和可靠性

通信的目的是要把信息及时可靠地传送给对方，因此要求一个通信系统传输消息必须可靠与快速，在数字通信系统中可靠与快速往往是一对矛盾。

若要求快速，则必然使得每个数据码元所占的时间缩短、波形变窄、能量减少，从而在受到干扰后产生错误的可能性增加，传送信息的可靠性下降。若是要求可靠，则使得传送消息的速率变慢。

因此，如何合理地解决可靠性和有效性这一对矛盾，是正确设计一个通信系统的关键问题之一。

在设计的时候，普遍牺牲有效性，来换取可靠性。



主要内容



1.1 通信的基本概念与发展简史


1.2 通信系统的组成

1.3 通信系统的分类与通信方式

1.4 信息及其度量

1.5 通信系统的主要性能指标

1.6 本章小结

- 
1. 什么是通信？
 2. 通信的三要素。
 3. 通信系统一般模型，各部分功能。
 4. 通信系统的分类。
 5. 模拟信号？数字信号？
 6. 数字通信系统模型，各部分功能，优缺点。
 7. 信息的度量方式，如何计算？
 8. 衡量通信系统优劣的指标？

The End

习题讲解

例1：国际莫尔斯电码用点和划的序列发送英文字母，划用**3**个单位的电流脉冲表示，点用一个单位的脉冲表示；且划出现的概率是点出现概率的**1/3**：

- (1) 计算点和划的信息量；
- (2) 计算点和划的平均信息量。

解： (1) 首先计算点和划出现的概率。

点： 3/4 $I_{\bullet} = \log_2 \frac{1}{3/4} = 0.415(bit)$

划： 1/4 $I_{-} = \log_2 \frac{1}{1/4} = 2(bit)$



习题讲解

例1：国际莫尔斯电码用点和划的序列发送英文字母，划用**3**个单位的电流脉冲表示，点用一个单位的脉冲表示；且划出现的概率是点出现概率的**1/3**：

- (1) 计算点和划的信息量；
- (2) 计算点和划的平均信息量。

解： (2) 平均信息量即信源的熵

$$H = \frac{3}{4} I_{\bullet} + \frac{1}{4} I_{-} = 0.811(\text{bit} / \text{符号})$$



习题讲解

例2：设一信息源的输出由**128**个不同符号组成。其中**16**个出现的概率为**1/32**，其余**112**个出现的概率为**1/224**。信息源每秒发出**1000**个符号，且每个符号彼此独立。试计算该信息源的平均信息速率。

解：先求信息源的熵**H**

$$H = 16 \times \frac{1}{32} \log_2 \frac{1}{1/32} + 112 \times \frac{1}{224} \log_2 \frac{1}{1/224} = 6.405(\text{bit} / \text{符号})$$

$$R_b = R_B \cdot H = 6405(\text{bit} / \text{s})$$



考研真题

西电03研究生入学试题

1. 某独立发送的二进制信源，1符号出现概率为 $1/4$ ，该信源的平均信息量为 0.811 bit/符号 。
2. 设每秒传送 N 个 M 进制的码元，则信息传输速率为 $N \cdot \log_2 M$ 比特/秒。

西南交通大学07研究生入学试题

3. 一信源由8个不同符号组成，各符号独立，其中4个符号出现概率为 $1/16$ ，2个符号出现概率为 $1/8$ ，2个符号出现概率为 $1/4$ ，则该信源符号的平均信息量为 2.75 bit/符号 ，若每个符号的时间宽度为 2ms ，则符号速率为 500B ；平均信息速率为 1375bit/s ，10秒发送的信息量为 13750bit 。



考研真题

中国海洋大学04年考研试题

数字通信系统的主要性能指标？各自的定义是什么？

空军工程大学01年研究生入学试题

一个二元码序列以 $2 \times 10^6 \text{ b/s}$ 的信息速率通过信道，并已知信道的误比特率为 5×10^{-9} ，试求出现1b差错的平均时间间隔。

解：

$$P_b = \frac{\text{每秒错误的比特数}}{R_b} = 5 \times 10^{-9}$$

$$\text{错误比特数} = 2 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-9} = 10^{-2} \text{ b/s}$$

所以出现1b差错的平均时间间隔 $t = 100 \text{ s}$



考研真题

北邮14年考研试题

选择

06. 某信源符号由 4 个不同的独立符号组成，信源最大熵为 $H_{\max}(X) = \underline{(13)}$ bit/符号。

(13) A. 1

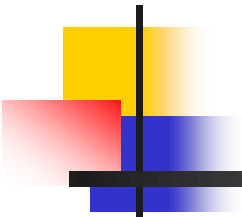
B. 2

C. 3

D. 4

判断

03. 数字通信系统的比特速率总是大于或者等于符号速率。




1、(10分) 一则消息由 A、B、C、D 四种符号组成，它们出现的概率分别为 $1/8$ 、 $1/8$ 、 $1/4$ 、 $1/2$ 。

(1) 求每个符号的平均信息量？

(2) 若每个符号的时间宽度为 2ms ，求符号速率和信息速率？

(3) 10s 发送的信息量为多少？

(4) 接收端在 0.5h 的时间内收到了 10 个错误的符号，求误码率？



【习题1】 一个由字母A、B、C、D组成的字，对于传输的每一个字母用二进制脉冲编码，00代替A，01代替B，10代替C，11代替D，每个脉冲宽度为5ms。

求： (1)不同的字母等概率出现时，计算传输的平均信息速率；
(2)若每个字母出现的概率分别为 $1/5$, $1/4$, $1/4$, $3/10$,
计算传输的平均信息速率。

【习题2】 某信源的符号集由A、B、C、D、E组成，设每一符号独立出现，其出现概率分别为 $1/4$, $1/8$, $1/8$, $3/16$, $5/16$ ，信源以1000B速率传送信息。

求： (1)传送1小时的信息量； (2)传送1小时可能达到的最大信息量。



Thank You !
