

通信原理 I

彭岳星

无线信号处理与网络实验室 (WSPN Lab)

智能计算与通信研究组 (IC² Team)

信息与通信工程学院

北京邮电大学

Tel: 6119 8066 ext. 2

E-mail: yxpeng@bupt.edu.cn

课程目标与要求

本课偏重于学习通信的一般性原理，包括：

- 通信的**基本理论**和**工程知识**
- 通信中的**关键问题**，以及**分析**解决这些问题的**思路**和**方法**。

□ 课程目标

- 建立通信系统的**基本概念**、培养信息通信中的**工程思维**、夯实研究通信问题的**理论基础**、掌握典型通信系统中的**设计开发案例**、熟悉评估通信系统的**关键指标**及其分析、测量和仿真方法；
- 为后续进一步学习信息通信相关的专业课程，从事信息通信领域的理论研究和工程技术工作奠定基础。

□ 支撑毕业要求指标点：

- 为信息通信系统、网络提供**基础知识**，包括相关概念、一般原理、分析方法等。——信息与通信的基础知识
- 为分析信息通信领域**复杂工程问题**提供基础知识，包括问题**建模**、问题**表达**、**分析**方法等。——问题的表述
- 为设计信息通信领域复杂工程问题的**解决方案**提供基础知识，包括基本原理、问题**分析**、**设计方法**等。——问题的解决
- 为研究信息通信领域复杂工程问题提供基础知识，包括设计**实验**方案、**关键指标**测量与分析、研究方法等 ——性能测试

教学方法

□ 教学方法：MOOC自学+线上教学

- MOOC: 视频教学, 自学课程内容, 视频地址: 学堂在线

<https://next.xuetangx.com/course/BUPT08071000042/1075933>

- 线上教学：教师讲授，在同学自主学习的基础上,强调重点、难点内容，加强师生互动、注重启发式教学、根据教学内容适时引入通信中的工程案例以及前沿通信技术案例。
- 研讨教学：根据具体教学内容以及学生学习情况，适当开展研讨活动。由教师提供扩展学习资料、提出研讨问题，学生自主探索，在此基础上展开以小组为单位的研讨式教学。

考核方式

□考核方式（暂定，时间、范围、方式根据返校时间可能有调整）

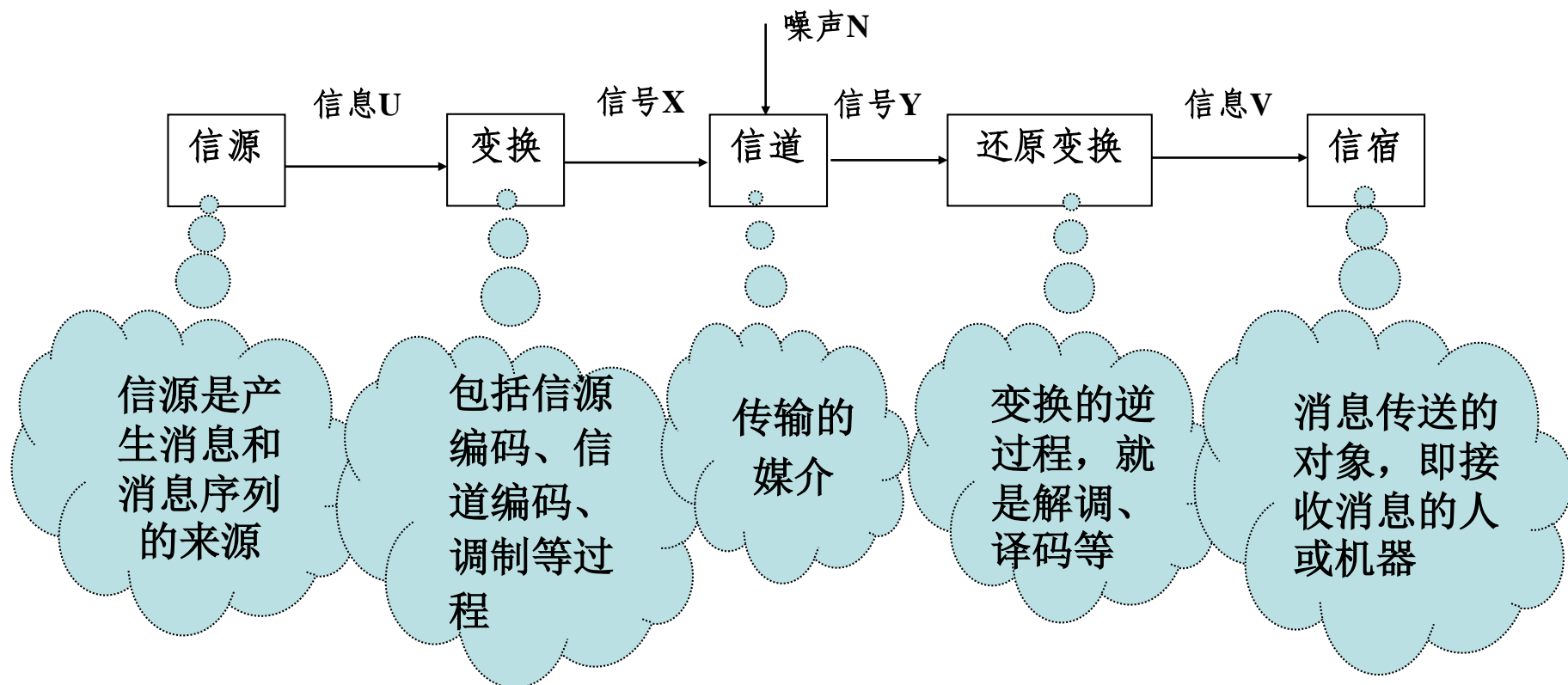
- 平时成绩（20%）：作业+随堂测试+线上自学
- 期中考试（40%）：考到5.3节，12周周末
- 期末考试（40%）：5.4-6.4，7.9

□平时成绩

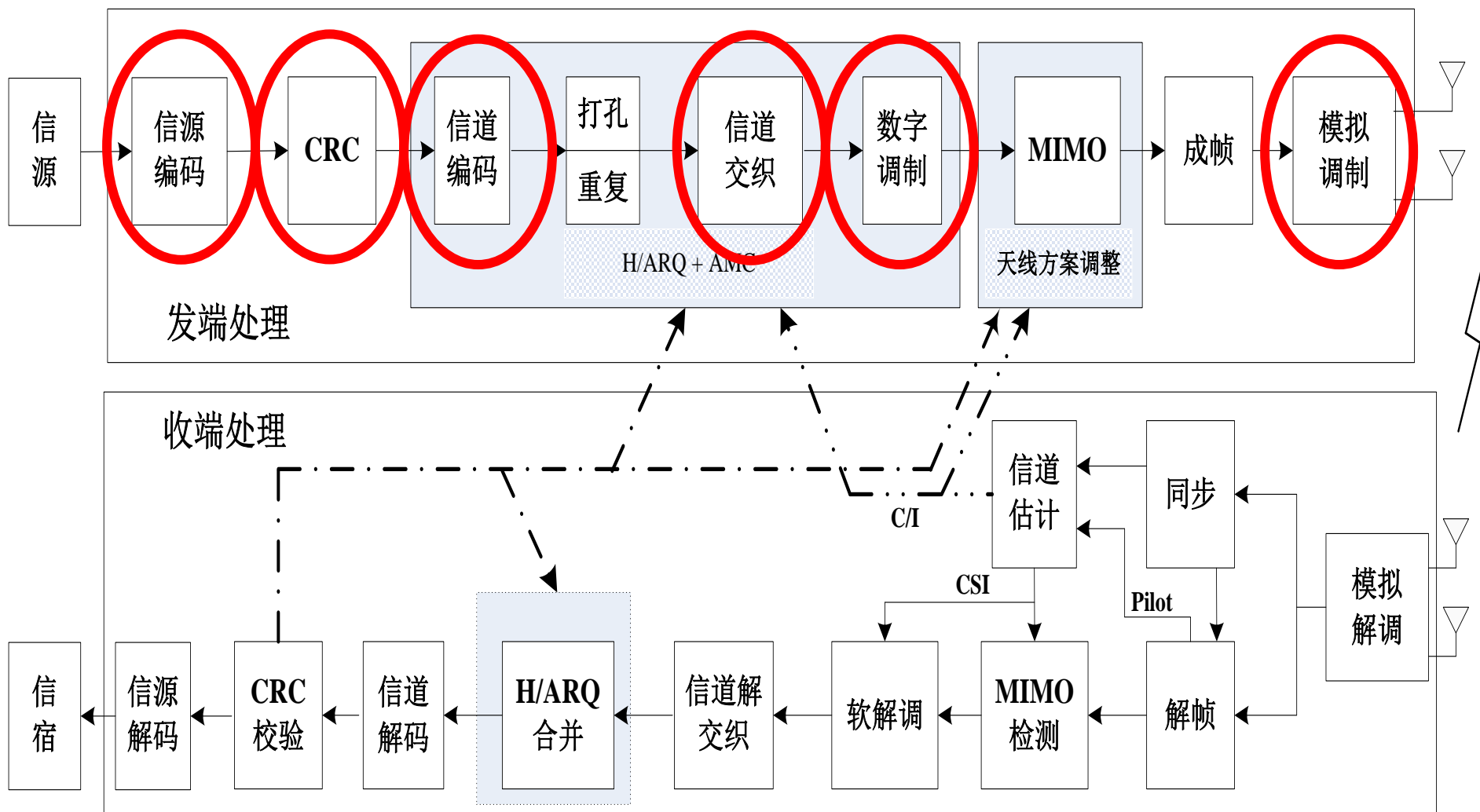
- 课后作业（20）：独立思考，鼓励新方法
- 随堂测试（40）：章节的重点内容，自己解答
- 课堂讲师（40）：建设性

- 上课与讨论方式
 - 腾讯会议 + 雨课堂
 - QQ讨论区：1053435348
- 学习方法
 - 三段式学习
 - 课前预习：预备知识；自学
 - 课堂听讲：注意力曲线；针对性；重点；
 - 课后复习、思考与作业巩固：记忆曲线；内涵外延；应用推广
 - 概念，物理含义，联系实际，基本原理，基本方法
 - 不同风格的教材相互补充
- 授课方式
 - 前讲内容回顾：重点，难点
 - 理论：统一的数学模型
 - 数学含义/物理含义
 - 应用：实际通信系统的应用
 - 性能、可实现性、经济性
 - 相关概念的比较：异同，关联

信息传输的基本模型



简化的实际通信系统



研究问题

□ 通信系统如何工作？

- 微积分运算及性质：高等数学
- 傅氏变换及性质：信号与系统，数字信号处理
- 卷积变换及性质：信号与系统
- 正交分解：线性代数

□ 通信系统在有噪声时的性能怎样？

- 概率论，随机过程
- 特殊函数

课程体系

由浅入深分为三大部分:

- 通信基础知识 (**Ch2, Ch3**)
 - ✓ 确定性信号分析
 - ✓ 随机信号分析
- 模拟通信系统 (**Ch4**)
- 数字通信系统 (**Ch5, Ch6, Ch7**)
 - ✓ 基带传输、频带传输
 - ✓ 信号数字化

课程特点

- 具有理论性强、知识综合、难度大等特点；
- 是一门理论性和实践性都很强的专业基础课
- 学习时要注意数学分析方法，更要注意数学分析所得结论的物理概念、物理意义；

教材与教辅材料

- **教材：通信原理 周炯磐等著**
- **参考书：**
 - **Digital and analog communication systems 5th edition, 清华大学出版社**
 - **Fundamentals of Wireless communications --- David Tse and P. Viswanath.**
 - **Wireless communications --- Andrea Goldsmith**
 - **Principles of digital communication - R. Gallager**

第1章 绪论

- 什么是通信
- 通信的发展简史
- 通信系统的组成
- 通信系统的分类和通信方式
- 信息及其度量
- 通信系统的主要性能指标
- **Shannon公式**

1.1 什么是通信？

- 通信：交流，传递消息；信息的传输与交换
 - ✓ 信息是要表示传送的对象（本质）
 - ✓ 消息是信息的媒体（形式）
 - 消息：语言、文字、图像、符号、声音等
 - 同一信息可以用不同的消息表示
 - ✓ 信号通常由消息变换而来，是与消息对应的某种物理量，通常是时间的函数(电压，电流等)
 - ✓ 通信系统中传送的是信号
 - ✓ 通信就是以语言、图像、数据为媒体，通过电（光）信号将信息由一方传输至另一方
- 通信(Communication):从一地到另一地进行信息的有效传递与交换
- 电信(Telecommunication):利用电子等技术手段，借助电信号(包含光信号)实现从一地到另一地进行消息的有效传递与转换

1.2 人类文明的发展

➤ 生产工具的革命：拓展手足的功能

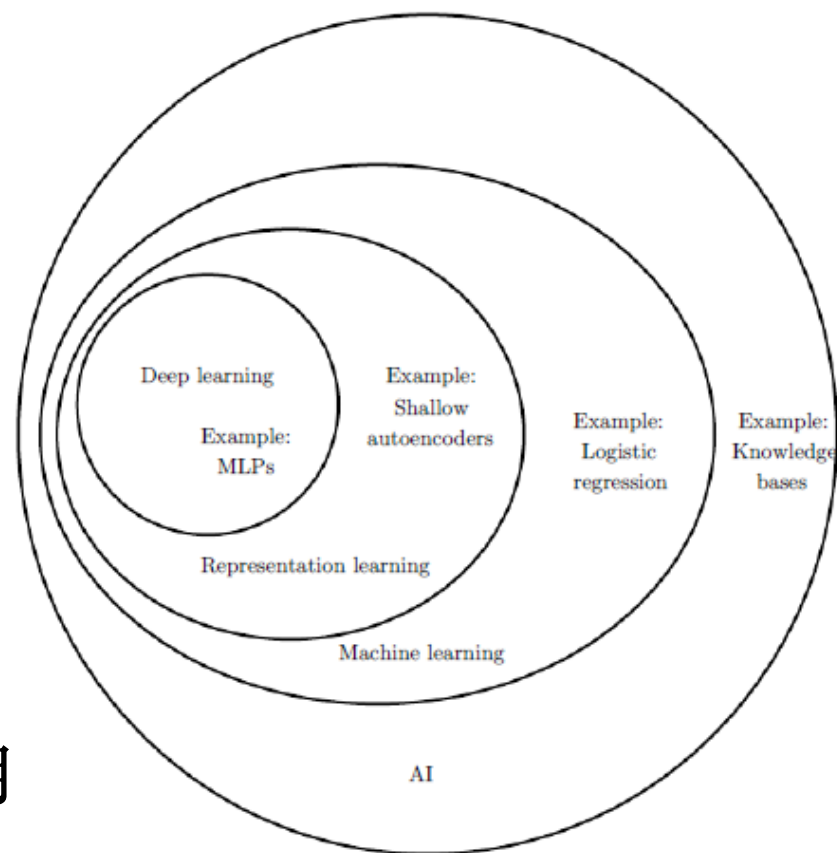
- ✓ 轮子
- ✓ 铜器，铁器

➤ 能源的革命：拓展体能

- ✓ 风能，水能
- ✓ 热能，机器能：蒸汽机
- ✓ 电能

➤ 信息的革命：拓展智能

- ✓ 信息论：语法、语义、语用
- ✓ 人工智能



通信的发展

➤ 古代：非电通信

- ✓ 烽火台狼烟：烽火戏诸侯。
- ✓ 旗语、鸣鼓进鸣金退
- ✓ 暮鼓晨钟、打更。。。

➤ 近代：电通信

- ✓ **1820年**：安培发明电报通信，近代数字通信的开始。
- ✓ **1838年**：莫尔斯将电报通信推向实用。
- ✓ **1876年**：贝尔发明电话，模拟通信的开始。

➤ **20世纪60年代以后**

数字通信技术进入高级发展阶段。

➤ **近20多年**

数字通信、光纤通信迅猛发展；

1.2 通信的发展



塞缪尔·莫尔斯
(Samuel Finley
Breese Morse,
1791-1872)

作为一名画家是成功的。莫尔斯在肖像画和历史绘画方面成了当时公认的一流画家。**1826年至1842年**任美国画家协会主席。

在一次远洋旅途中，莫尔斯结识了杰克逊。杰克逊是波士顿城的一位医生，也是一位电学博士。闲聊中，杰克逊把话题转到电磁感应现象上。

从此，莫尔斯走上了科学发明的崎岖道路。为了维持生活，莫尔斯于**1836年**不得不重操旧业，担任纽约大学艺术及设计教授。课余时间，他仍然继续从事电报发明工作。终于在**1837年9月4日**，莫尔斯制造出了一台电报机。

1844年5月24日，在华盛顿国会大厦联邦最高法院会议厅里，进行电报发收试验。年过半百的莫尔斯在预先约定的时间，兴奋地向巴尔的摩发出人类历史上的第一份电报。他的助手很快收到那份只有一句话的电报：

“上帝创造了何等的奇迹!”

1.2 通信的发展



出生于英国爱丁堡，移民加拿大，后入美国籍。

声学生理学家与聋哑人语教师，母亲与妻子是聋人，深刻影响其一生的工作。对听力和语言的研究，引导他发明实验听力设备

1876年被授予第一个针对电话的发明专利。在他之前，德国人菲利普·雷斯发明过一台电话机，但传声效果极差，实际上无法使用。

1876年**3月10**日，贝尔实验成功了世界上第一台可用的电话机。

1877年，建成从波士顿到纽约之间长距离电话线通话。第一份用电话发出的新闻电讯稿被发送到波士顿《世界报》，标志着电话为公众所采用。

1878年，贝尔电话公司正式成立。

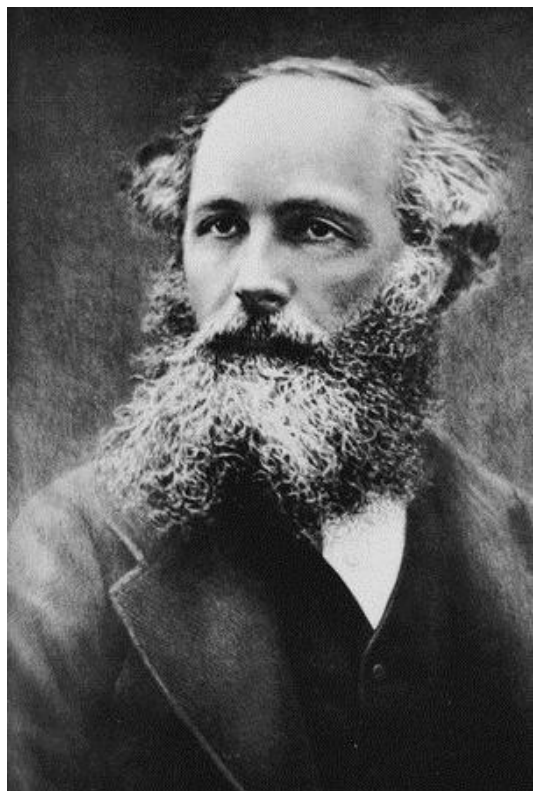
**Alexander
Graham Bell
(1847-1922)**
美国电话发明者

伟大的贝尔实验室

- 1933年，卡尔·央斯基通过研究长途通讯中的静电噪声发现银河中心在持续发射无线电波，由此创建了**射电天文学**。
- 1947年，贝尔实验室发明**晶体管**，于1956年获诺贝尔物理学奖。
- **克劳德·香农**于1948年发表论文《通讯的数学原理》，奠定了**现代通信理论**的基础。1949年发表论文《保密系统的通信理论》，开创了现代保密通信理论。
- 1954年发明了**太阳能电池**
- 1958年查尔斯·汤斯和阿瑟·肖洛提出了“**激光原理**”，并分别获得1964年和1981年的诺贝尔物理学奖。
- 1962年，语音信号数字传输、通信卫星：电星1号
- 1963年，无线电天文学（太空望远镜、射电望远镜）
- 1964年阿诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊发现**宇宙微波背景辐射（3K）**，并因此获得1978年诺贝尔物理学奖。
- 1969年乔治·史密斯和威拉德·博伊尔共同发明**电荷耦合组件（CCD）**。两人因而获得2009年诺贝尔物理学奖。
- 1970年开发了**UNIX操作系统和C语言**，1983年开发了**C++**
- 1979年**片上系统（SoC）型DSP**
- 为了公司的电话业务利益，雪藏了一些创新：**磁带、答录机等**



1.2 通信的发展



麦克斯韦(James Clerk Maxwell
1831~1879)英国
物理学家

麦克斯韦是19世纪伟大的英国物理学家、数学家，经典电动力学的创始人，统计物理学的奠基人之一。19世纪最奇妙的科学发现——电磁场理论的完成者，并且预言了电磁波的存在。

麦克斯韦1831年6月13日出生于爱丁堡。16岁时进入爱丁堡大学，三年后转入剑桥大学学习数学，1854年毕业并留校任教，两年后到苏格兰的马里沙耳学院任自然哲学教授，1860年到伦敦国王学院任教，1871年受聘筹建剑桥大学卡文迪什实验室，并任第一任主任。1879年11月5日在剑桥逝世。

麦克斯韦在物理学中的最大贡献是建立了统一的经典电磁场理论和光的电磁理论，预言了电磁波的存在。而这种理论预见后来得到了充分的实验证实。1873年，麦克斯韦完成巨著《电磁学通论》，这是一部可以同牛顿的《自然哲学的数学原理》相媲美的书，具有划时代的意义，是牛顿以后科学史上的又一座丰碑。

1.2 通信的发展



赫兹（1857-1894）德国物理学家

生于汉堡。早在少年时代就被光学和力学实验所吸引。十九岁入德累斯顿工学院学工程，次年转入柏林大学。**1885**年任卡尔鲁厄大学物理学教授。**1889**年，任波恩大学物理学教授，直到逝世。

赫兹对人类最伟大的贡献是用实验证实了电磁波的存在。

1888年1月，赫兹将这些成果总结在《论动电效应的传播速度》一文中。赫兹实验公布后，轰动了全世界的科学界。由法拉第开创，麦克斯韦总结的电磁理论，至此才取得决定性的胜利。

1888年，成了近代科学史上的一座里程碑。赫兹的发现具有划时代的意义，它不仅证实了麦克斯韦发现的真理，更重要的是开创了无线电电子技术的新纪元。为了纪念他在电磁波发现中的卓越贡献，后人将频率的单位命名为赫兹。

1.2 通信的发展



香农 (1916~)
Shannon,
Claude Elwood
美国数学家,
信息论创始人

1916年4月30日生于密歇根州盖洛德。**1936年**获密歇根大学理学士学位，**1940年**获麻省理工学院哲学博士学位。**1941年**起在美国贝尔电话实验室工作。**1956年**起任麻省理工学院教授。

1938年首次使用“比特”概念；**1948年**发表《通信的数学理论》，提出负熵概念，**1949年**发表《噪声中的通信》，从而奠定了信息论的基础。**1949年**发表《保密系统的通信理论》，使他成为密码学的先驱。**1956年**与J.麦卡锡合编《自动机研究》（论文集），是自动机理论方面的重要文献。曾获电气和电子工程师学会(IEEE)的诺贝尔奖等多项世界性科学大奖。**1956年**当选美国科学院院士，并是多个学会的资深会员。

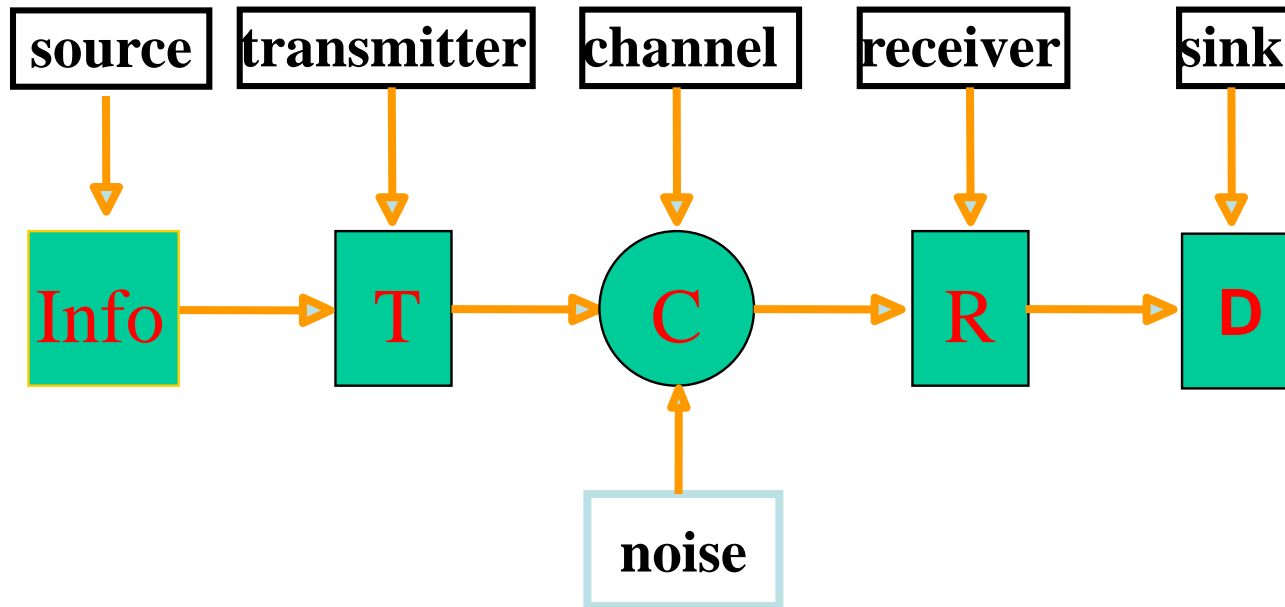
无失真变长信源编码定理(香农第一定理) 有噪信道编码定理(香农第二定理) 保真准则下信源编码定理(香农第三定理)

1.2 通信的发展

- 本课涉及的通信系统是指电或电子通信系统
- 通信：
 - ✓ 信息的传递过程，包含传输和交换 ----
Transmission and switching
- 通信原理主要解决的问题
 - ✓ 信息的传递，即通信传输

1.3 通信系统的构成

- P2P通信系统的基本模型（Shannon模型）



- 信源、信宿：信息的发送者和接受者
- 信道：传送信息的通道
- 发送：这里泛指把信源输出的信息变换成适合信道传输的信号的过程，通常包括信源编码、加密、信道编码、调制等。接收是其反过程。

1.4 通信系统基本概念

- 性能指标
 - 有效性：单位带宽内传送的信息量的多少。模拟通信系统用单位带宽内能传送的电话或电视路数表示；数字通信系统用频带利用率 (bit/Hz) 表示
 - 可靠性：接收信息的准确程度。模拟通信系统用接收端的输出信噪比表示；数字通信系统用误比特率表示(BER-Eb/No)
 - 有效性和可靠性是相互矛盾的，可以互换。
 - 保密性：安全容量