

# 通信原理 Principle of Communication

殷蔚华

[yinwh@mail.hust.edu.cn](mailto:yinwh@mail.hust.edu.cn)

The text book we've used



# Some rules for the class

- ❖ We need a circumstance
  - ❧ suitable for learning and thinking
  - ❧ Friendly and fair to everybody
- ❖ So, whenever we do something, please think about the following first
  - ❧ Are somebody be interfered?
  - ❧ May the class order be broken?
  - ❧ Do we loss the chance to get something from the class

- ❖ 请准时到课，迟到请从后门入，以免影响他人
- ❖ 请用完早餐再进教室
- ❖ 请关闭手机或其它发声的工具
- ❖ 课上课下欢迎提问和讨论，但无关交谈请课后进行
- ❖ 请勿上课时赶作业，尤忌抄作业



# 第一章 绪论

## ❖1 引言

- 通信的基本概念
- 通信技术发展回顾
- 通信技术当前状况与趋势

## ❖2 通信系统概述

## ❖3 《通信原理》的学习

# Telecommunications-basic for a human society

## ——沟通信息，交换情报的社会需求

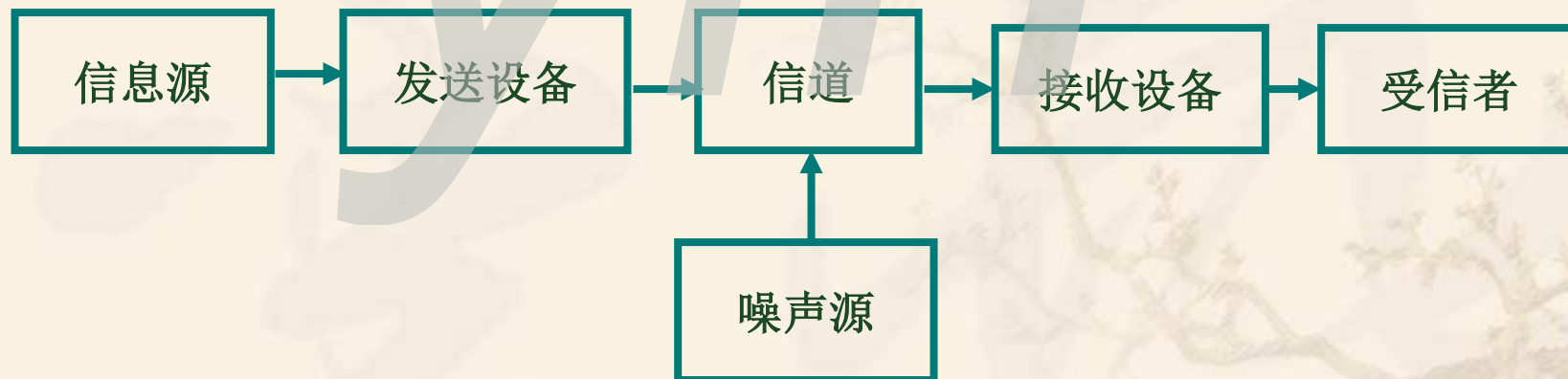


# 什么是通信？——信息的传递

❖ 通信的目的：传递消息中所包含的信息。

∞ 消息、信息和信号概念不同，详见后。

❖ 通信系统的基本构成——信源、信宿、信道





# 通信原理讲什么？

## —信息传输的原理（电）

### ❖ 实现通信的方式和手段：

❧ 非电的：声音、文字、目力所及，

❖ 如旌旗、书信、烽火台…

❧ 电的：如电报、电话、广播、电视、计算机通信。

### ❖ 现代通信主要是电通信

❧ 包括光通信，因为光也是一种电磁波。

❧ 电通信系统中，信道中通过的是电信号，即信息的传输是通过电信号来实现的。

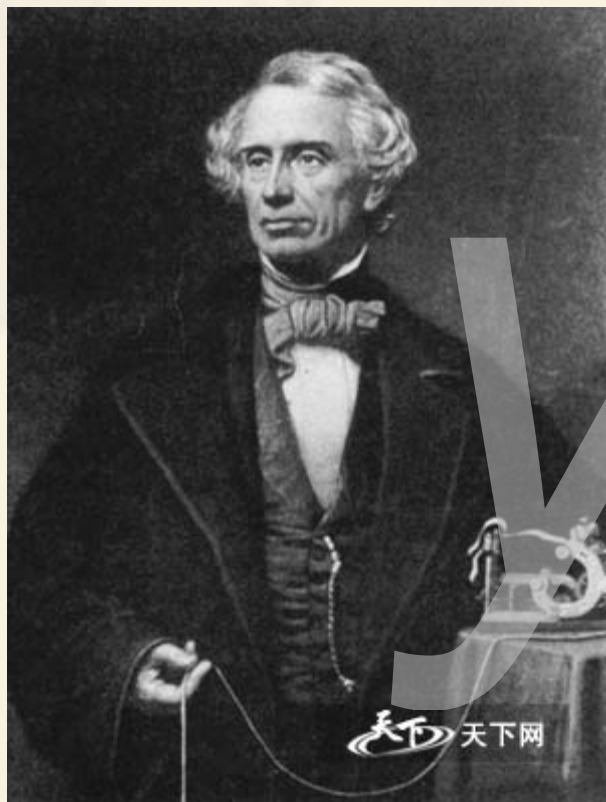


# 我们站在巨人的肩膀上

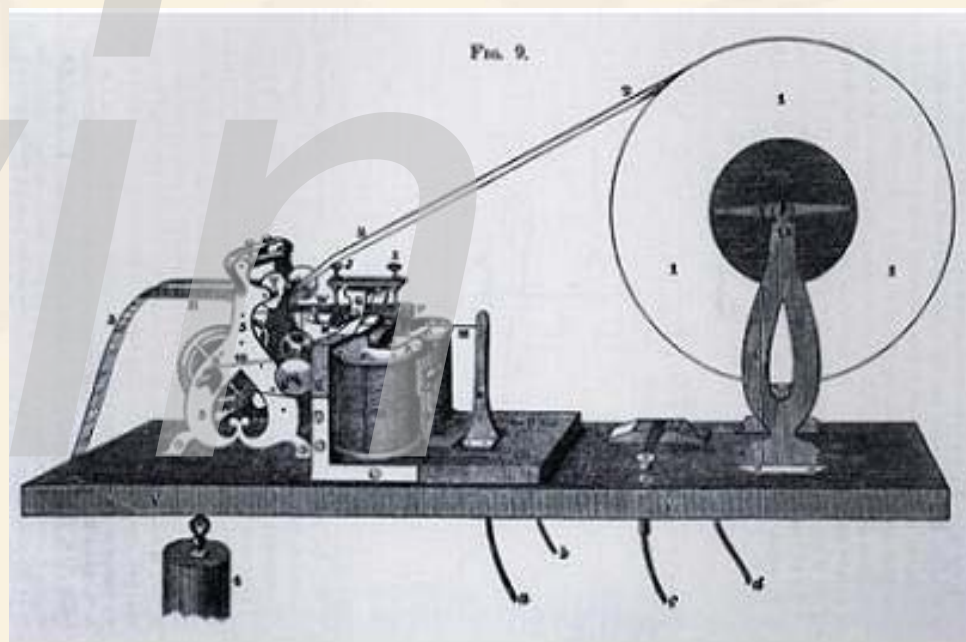
## ——电通信是从发明电报、电话开始的



# 1837年，莫尔斯发明电报（telegram）



塞缪尔·莫尔斯（1791-1872）



莫尔斯电报机

## 有线通信—1876年贝尔发明电话（Telephone）



最早期打电话情形，图中为贝尔



## 电磁波的应用—无线通信

1895年 马可尼 在陆地和拖船之间实现传输2公里的无线电报

1901年12月12日 马可尼在加拿大纽芬兰岛收到从英国

Cornwall发出的无线信号，传输距离1700mile

1902年 英国与加拿大之间正式开通了越洋无线电报通信电路

1907年 获诺贝尔物理奖



马可尼电报机



马可尼Marconi

# 通信技术大事记（一）

## ❖ 现代通信的开始

物理发现：

1831年，法拉第电磁感应

1873年，麦克斯韦尔电磁场理论

通信技术发展：

1837 -----莫尔斯发明电报

1876-----贝尔发明有线电话

1897 -----马可尼发明无线通信

# 通信技术大事记 (二)

物理发现:

1906年发明电子管

1928年奈奎斯特准则和采样定理+

1948年香农定理

20世纪50年代发明半导体+

20世纪60年代发明集成电路

20世纪50年代航天技术  
信,

20世纪60年代发明激光+

20世纪70年代发明光纤

通信技术发展:

模拟通信得到发展

在理论上为数字通信准备了条件

数字通信得到发展

1963年第一次实现了同步卫星通  
开辟了空间通信的新纪元

开辟了光纤通信的新纪元



# 通信技术大事记（三）

## ❖ 通信技术的发展壮大

- ❧ 1918-1919 ----- 调频调幅广播的商用化
- ❧ 1938 ----- 黑白电视商用化
- ❧ 1946 ----- 开通了车载移动电话
- ❧ 1953 ----- 彩色电视研制成功
- ❧ 1965 ----- 发明程控电话交换机
- ❧ 1978 ----- 模拟蜂窝移动通信系统商用化

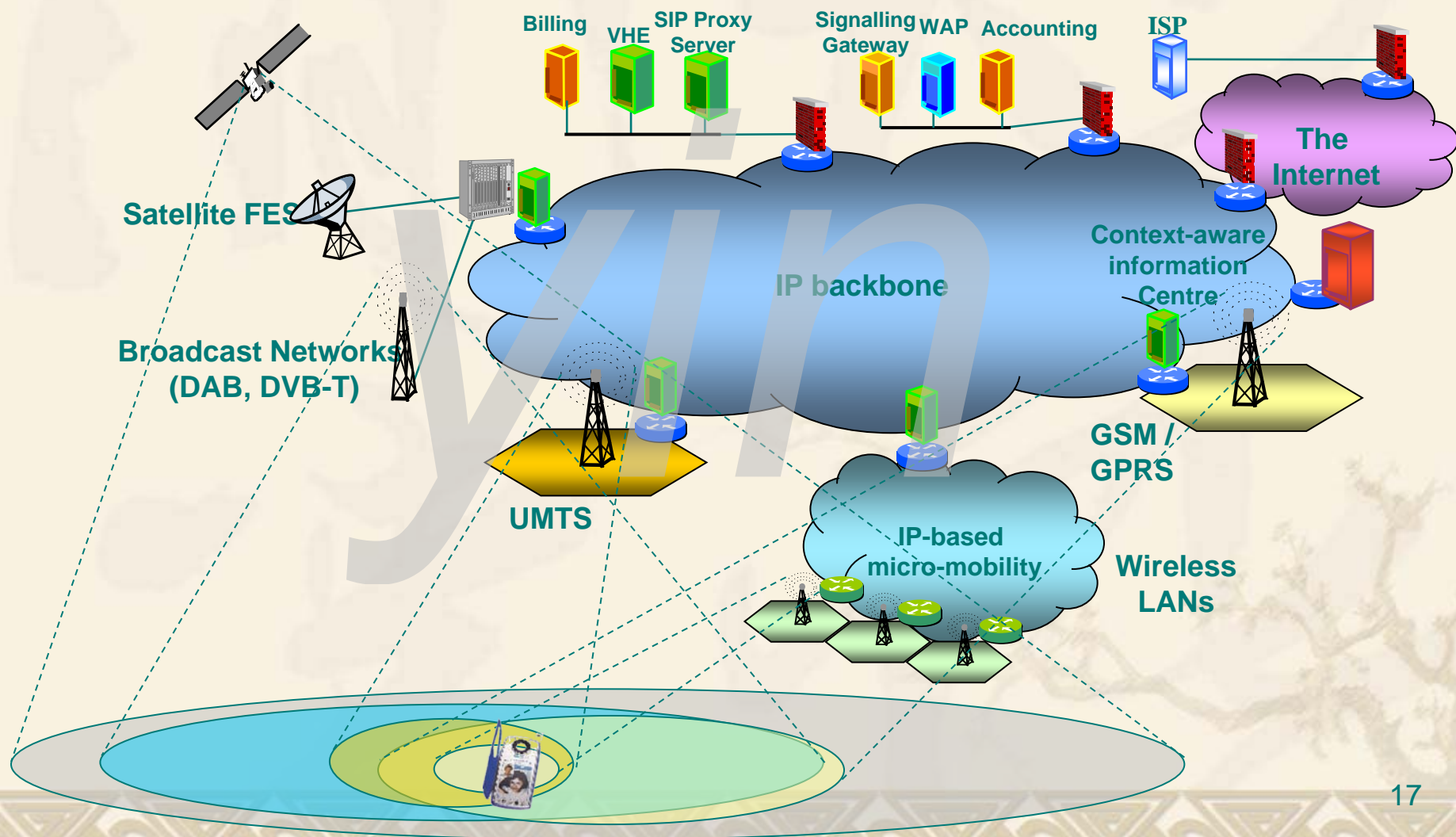
## ❖ 成熟与快速发展期

- ❧ 1991 ----- GSM商用
- ❧ 1995 ----- CDMA(IS—95) 商用
- ❧ 移动通信2G → 3G → 4G → 5G ;  
移动通信快速普及，移动电话用户数超过固定电话
- ❧ 网络化、无线化、多媒体化，随时随地，上网无线，个人通信
- ❧ 通信的无处不在：大数据、云计算、物联网、可佩带可植入、深空通信

# 信息社会对通信的需求无所不在



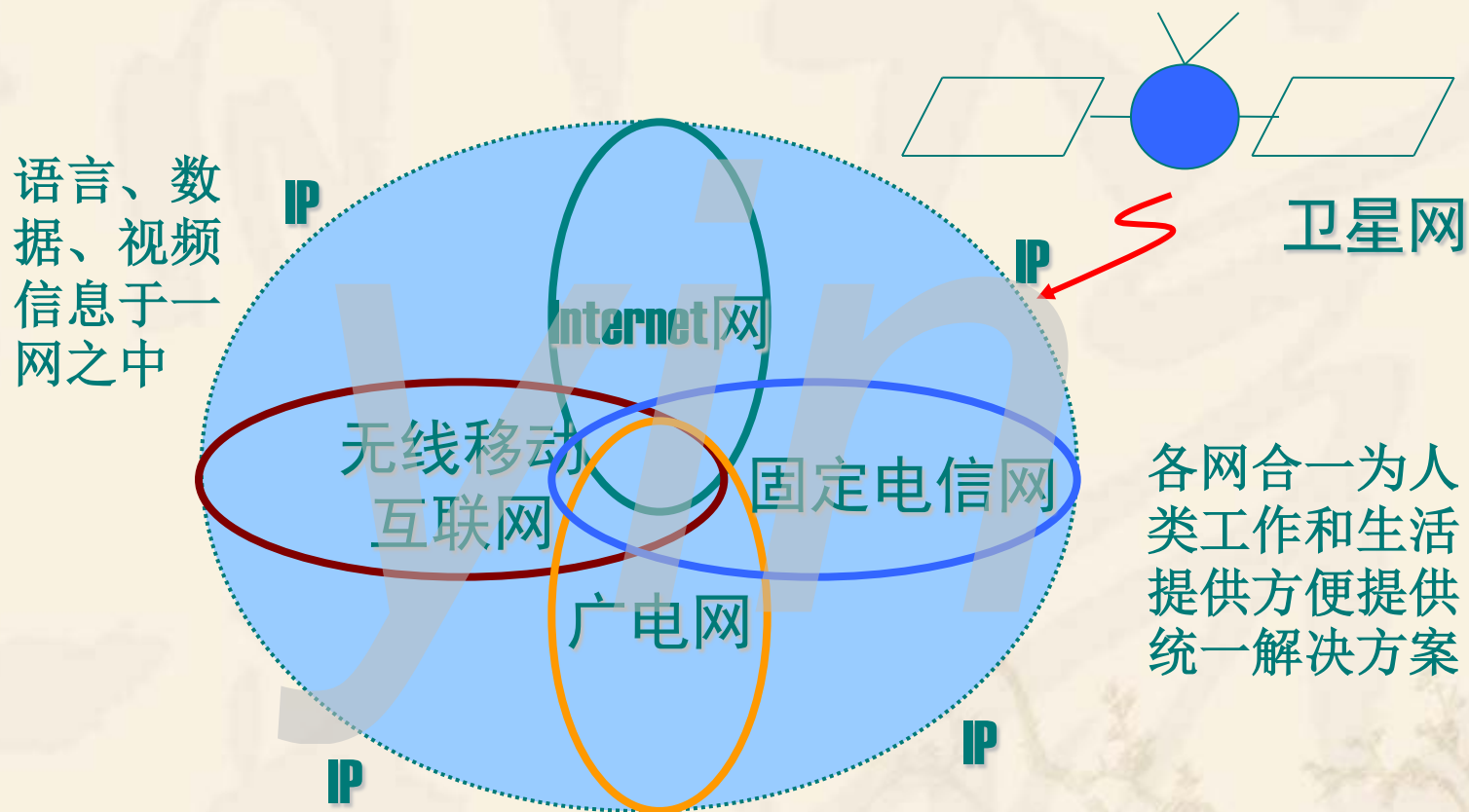
# 通信网络四通八达！





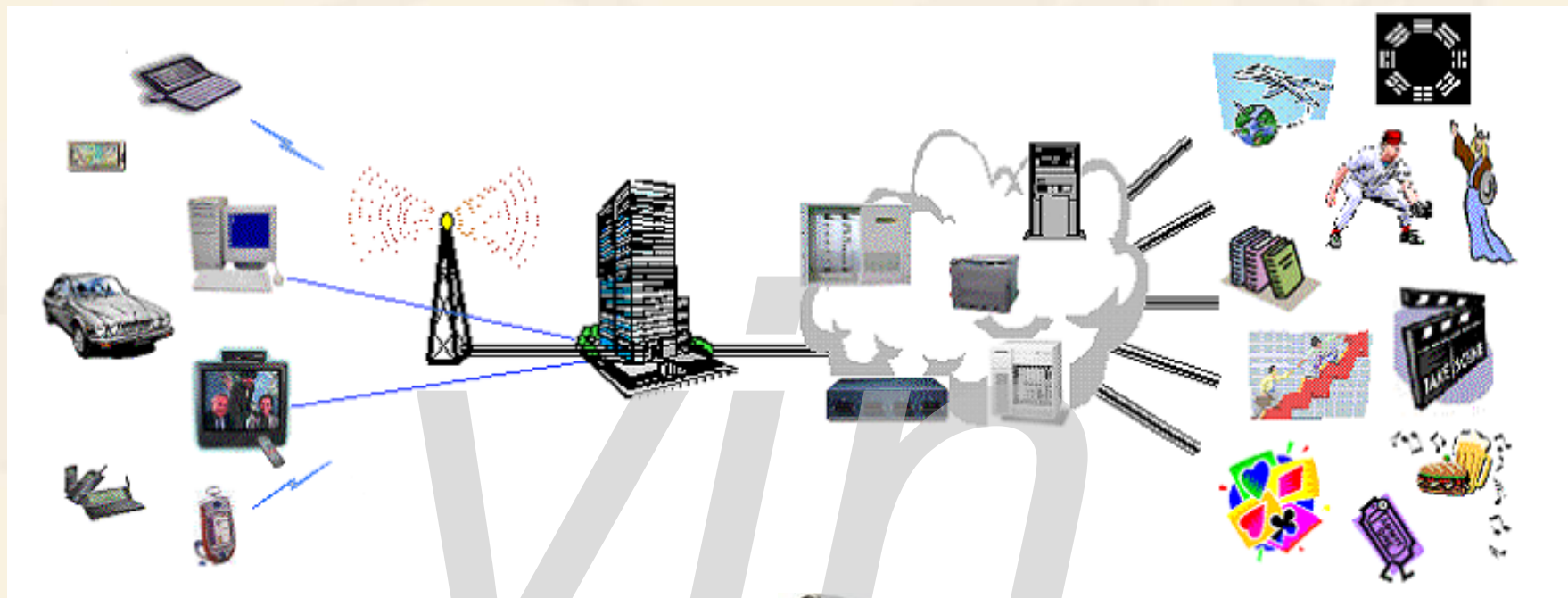
# 网络正走向融合！

IP技术提供了各网融合的基础



网络融合示意模型

## 从有线到无线，随时随地，上网无线！



### 个人通信：5W

- Whenever 无论何时
- Wherever 无论何地
- Whoever 无论是谁
- Whatever 无论什么内容
- Whomever 能找到对方

多媒体：语数字、视频、音乐



从小灵通、2G手机到苹果iphone

# 第一章 绪论

## ❖1 通信的基本概念

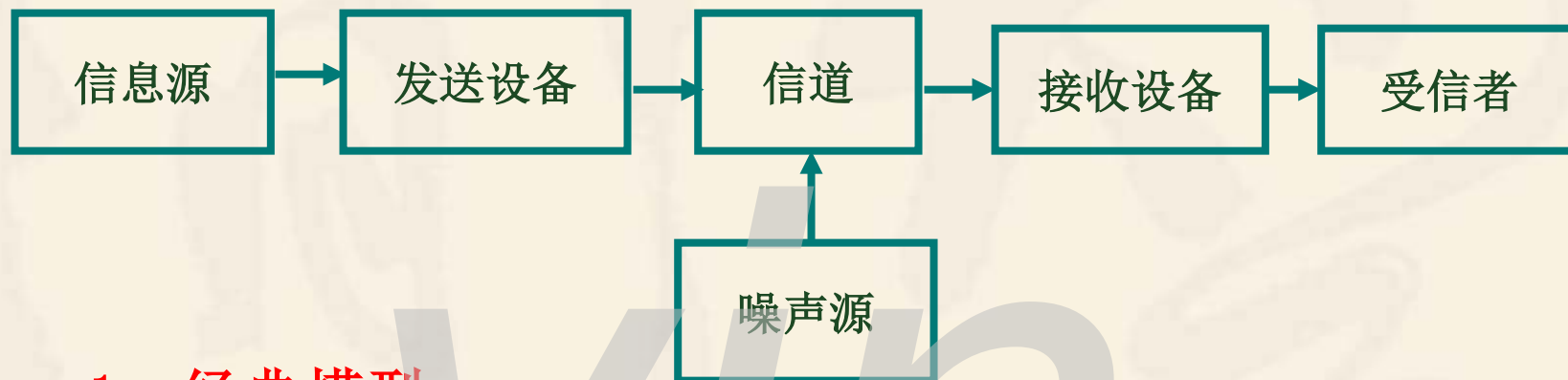
## ❖2 通信系统概述

- 通信系统模型
- 通信系统分类
- 通信系统的质量指标

## ❖3 《通信原理》的学习



# 通信系统概述\_通信系统模型



## ❖ 1、经典模型

❧ 信源与信宿（受信者）：广义地说，是消息的来源与接受者。

❖ 电通信系统中，把消息转换成原始电信号的设备可称为信源，如麦克风。  
把电信号变换为相应的消息的设备可称为信宿，如扬声器。

❧ 发送设备：产生适合于在信道中传输的（电）信号。

❧ 接收设备：从信道接收信号并还原出原始（电）信号。

❧ 信道：收发两端间传送（电）信号的物理媒质。分为有线信道和无线信道两大类。

❧ 干扰源：将分布于通信系统中各处的噪声和干扰集中表示。

# 信息、消息、信号？

## ❖ 信息 (information)：详见1.4及《信息论》

∞ 消息中所含内容的度量，由香农信息论定义，单位是比特 (bit)

∞ 信源熵：信源每个符号携带的平均信息量，单位是bit/符号

∞ 注意：工程应用中，将一个二进制码元称为1 bit，与信息单位 (bit) 含义有所区别。

## ❖ 消息(message)：

❖ 通信系统传送的对象（符号、语音、文字、图像、数据）

## ❖ 信号 (signal)：

❖ 由消息变换后，在通信设备及信道上传送的物理量（电、光、声等）

# 模拟信号、数字信号？

❖ 模拟信号：代表消息的（电）信号参量取值连续。

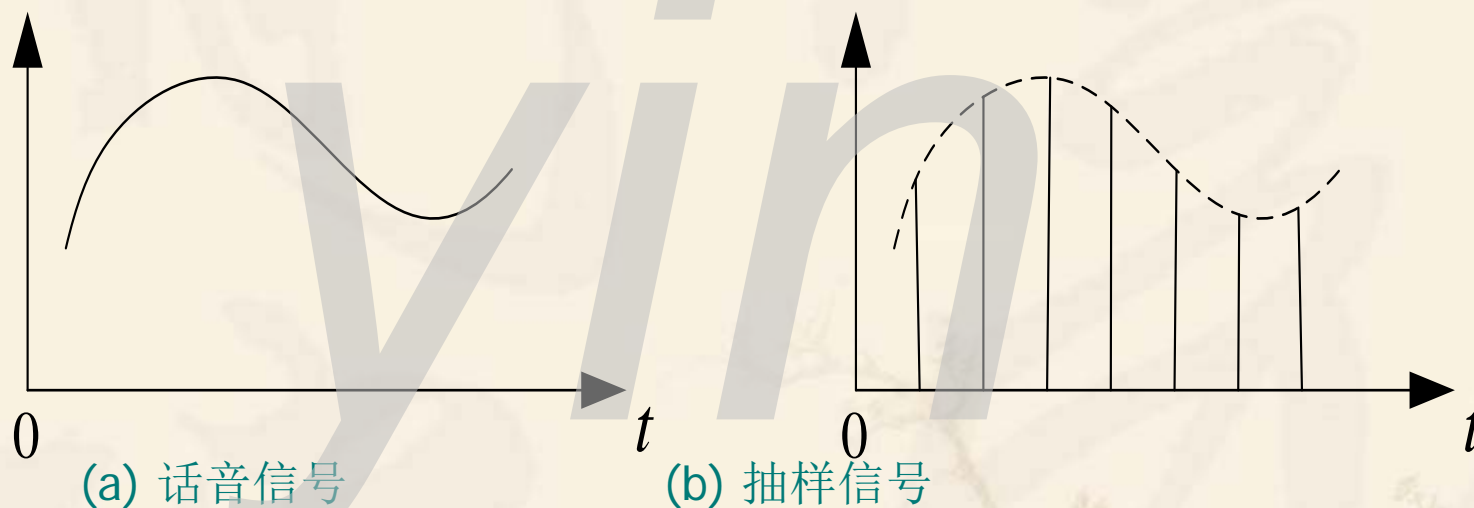
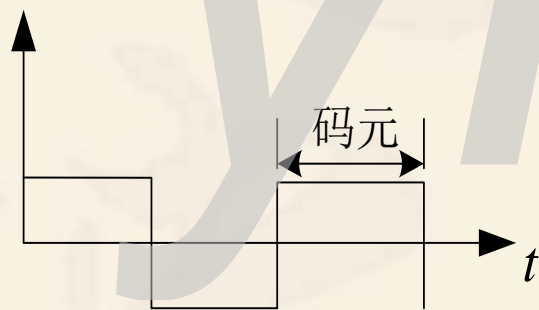


图1-2 模拟信号

❖ **数字信号**：代表消息的（电）**信号参量**取值为有限个。

∞ 例如电报信号、计算机输入输出信号。

∞ 注意：信道中传输的数字信号，其波形可能是连续的。



(a) 二进制信号

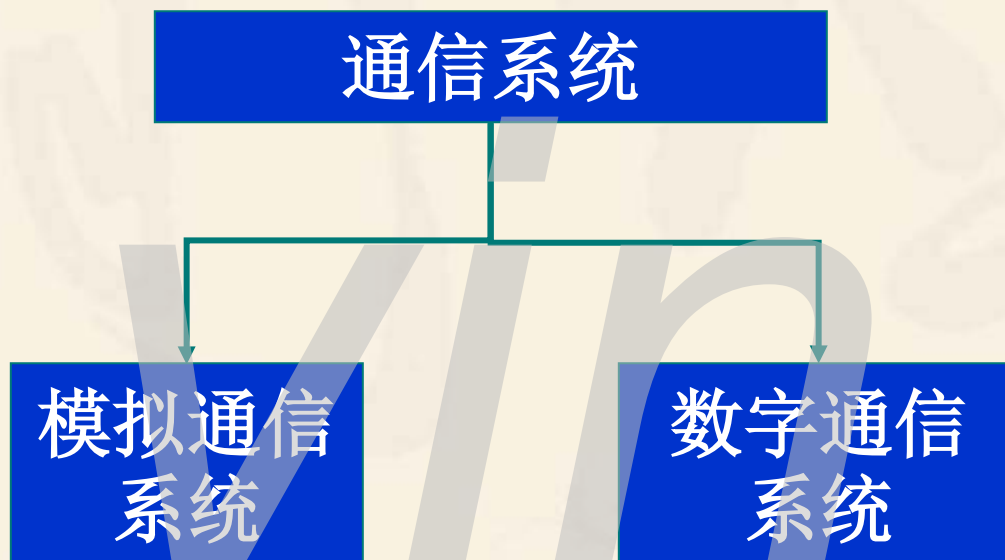


(b) 2PSK信号

图1-3 数字信号

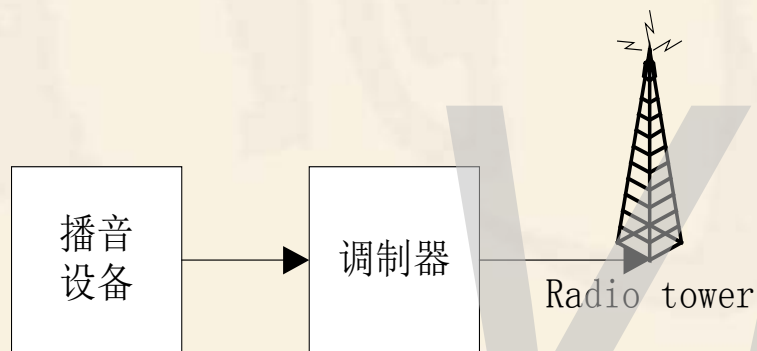
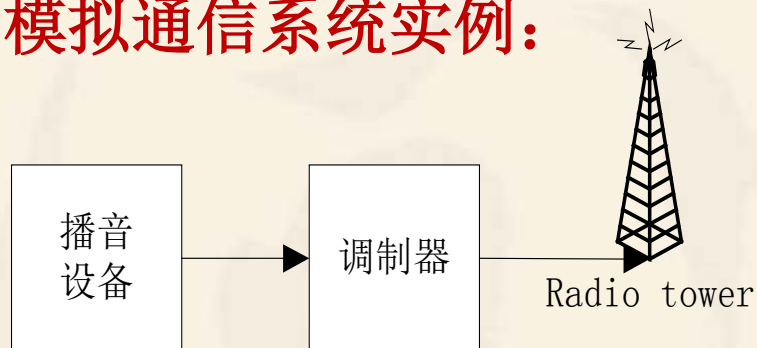


## ❖ 2. 模拟通信系统模型

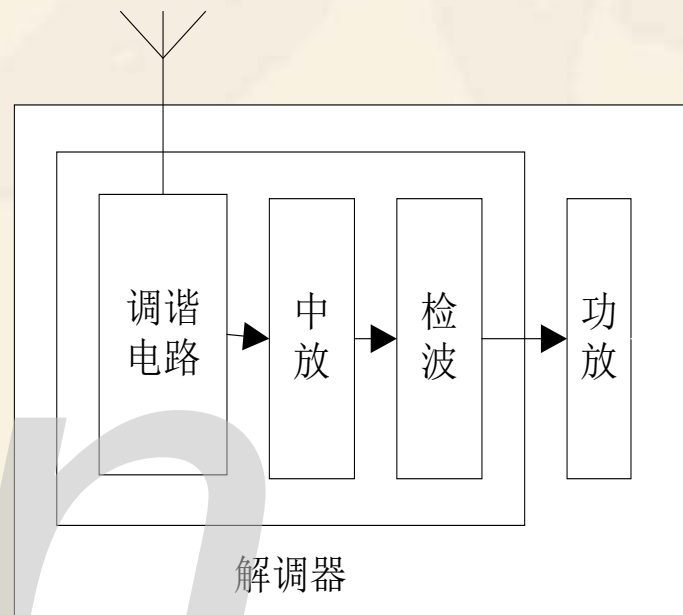


按信道中传输的是模拟信号还是数字信号区分

## 模拟通信系统实例：



广播电台



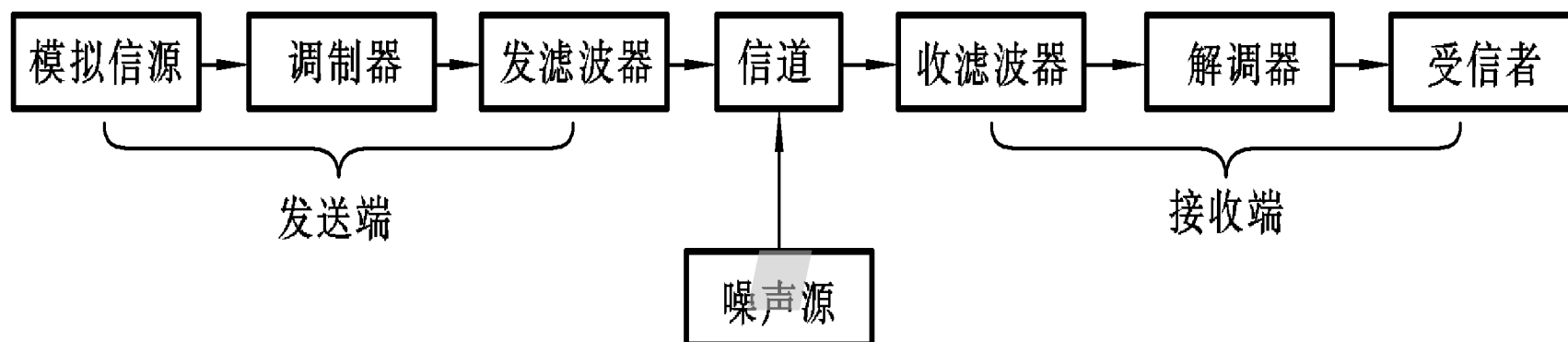
收音机

## 模拟通信设备：

老式电话机



大哥大：  
摩托罗拉3200

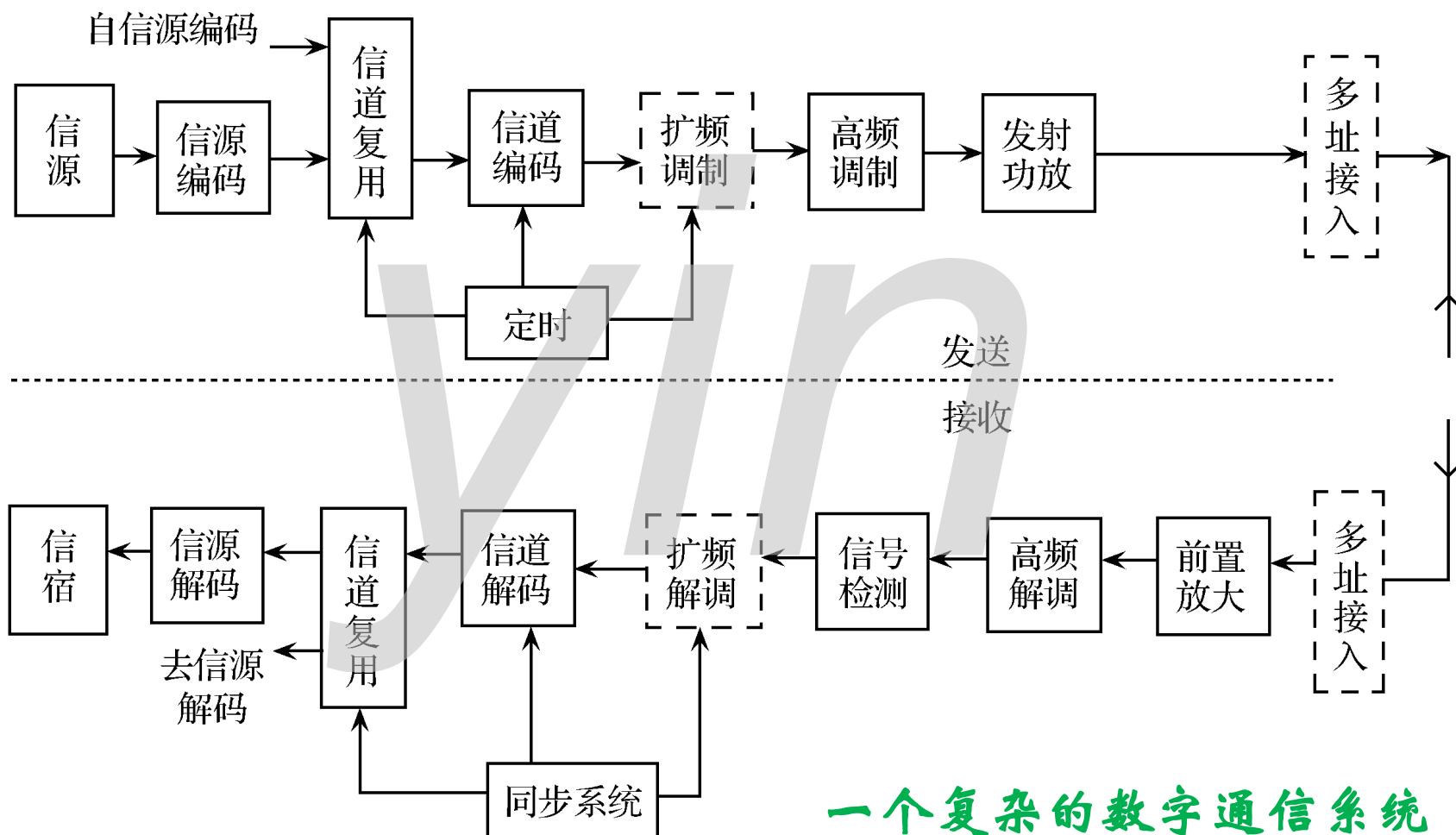


## 模拟通信系统模型

### ❖ 主要实现两种变换:

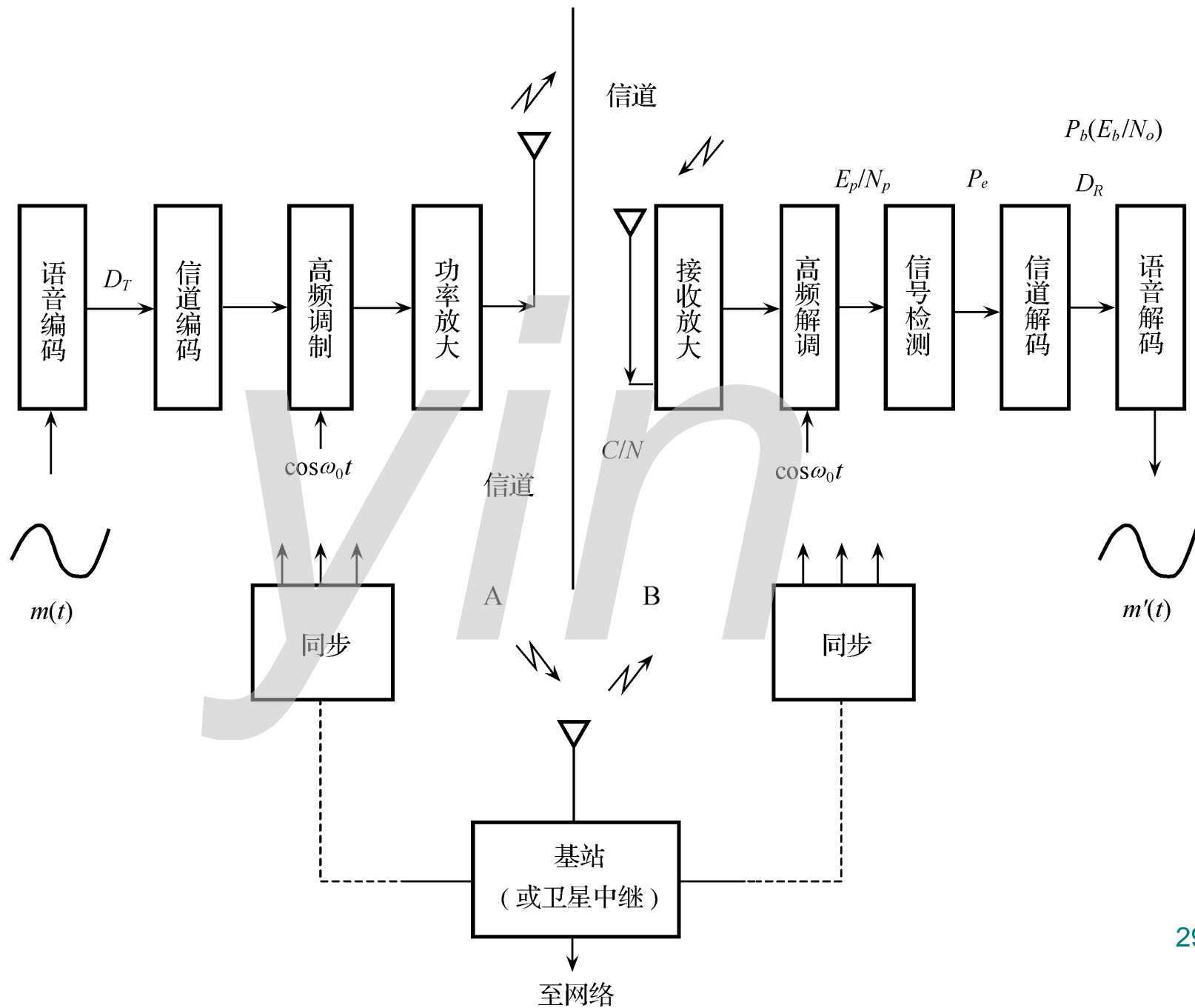
- ∞ 信源/信宿: 模拟消息  $\Leftrightarrow$  原始电信号 (基带信号)
- ∞ 调制/解调: 基带信号  $\Leftrightarrow$  已调信号 (带通信号)

### ❖ 3. 数字通信系统模型





# 无线数字通信系统实例



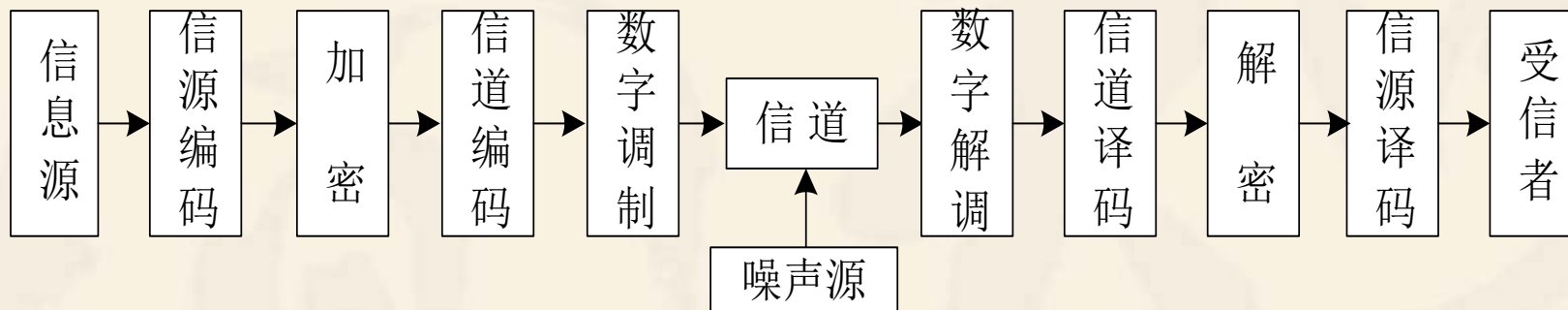


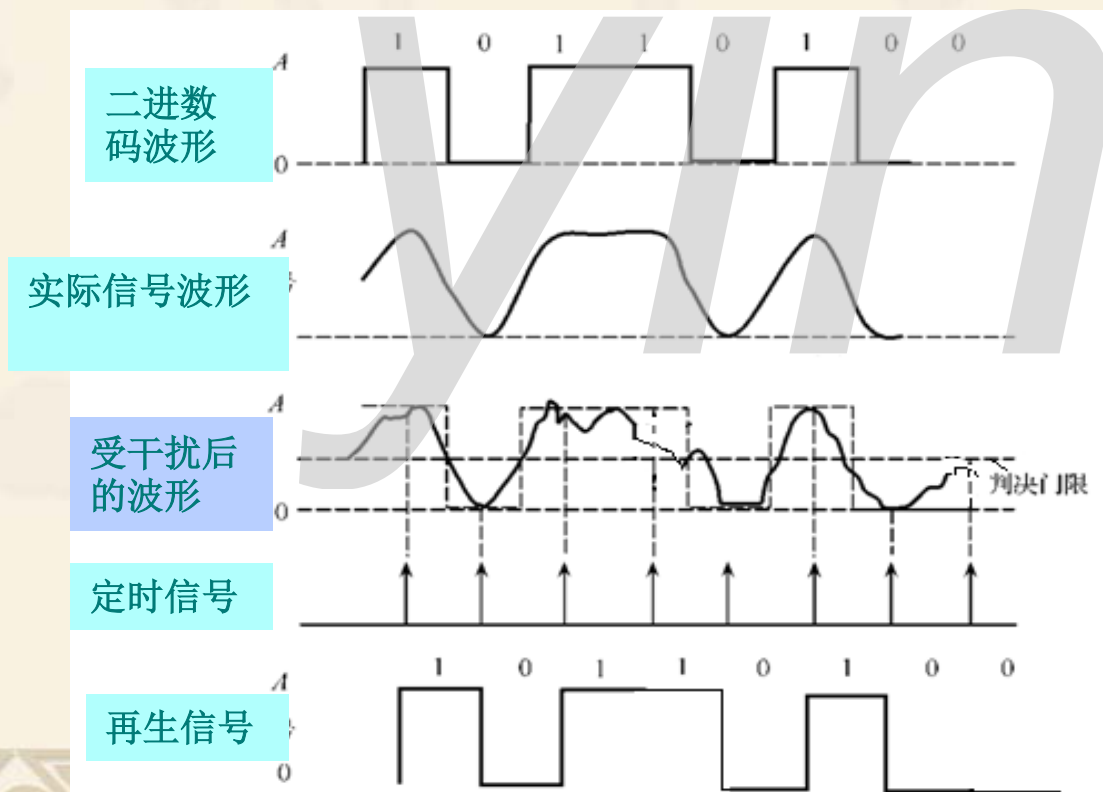
图1-5 数字通信系统模型

- ❖ 信源编码与译码：
  - ❧ 完成模/数转换(模拟信号数字化)
  - ❧ 提高信息传输的有效性
- ❖ 信道编码与译码：增强抗干扰能力
- ❖ 数字调制与解调：成适合在信道中传输的带通信号
- ❖ 同步：使收发两端的信号在时间上保持步调一致
- ❖ 加密与解密：保证所传信息的安全

## ❖ 数字通信\_PK\_模拟通信

### ☞ 优点

- ❖ 抗干扰能力强，且噪声不积累\_采用中继\再生
- ❖ 传输差错可控\_采用纠错(信道)编码
- ❖ 便于处理、变换、存储\_用计算机等智能设备进行



数字信号受干扰后可以再生，  
消除干扰影响

## ∞ 优点

- ❖ 便于将来自不同信源的信号综合到一起传输\_综合业务数字网
- ❖ 易于集成，使通信设备微型化，重量轻
- ❖ 易于加密处理，且保密性好

## ∞ 缺点：

- ❖ 需要较大的传输带宽
- ❖ 对同步要求高
- ❖ 设备复杂
- ❖ 调制解调与模拟的侧重点不一样

数字电路性能稳定可靠，  
设计、维护、生产方便，  
体积小，重量轻



数字电路



高频模拟电路



# 通信系统概述\_通信系统分类

- 1) 按信号特征分
  - 数字通信
  - 模拟通信
- 2) 按传输媒质分
  - 有线通信
  - 无线通信
- 3) 按工作波段  
(频率) 分
  - 长波通信
  - 中波通信
  - 短波通信
  - 微波通信
  - 光波通信

4)按通信业务分

电报  
电话、可视电话  
数据、数传  
图像通信、TV  
雷达

5)按用途分

专用通信  
公用通信

6) 按通信者是否运动分

固定通信  
移动通信

7) 按复用、多址技术分

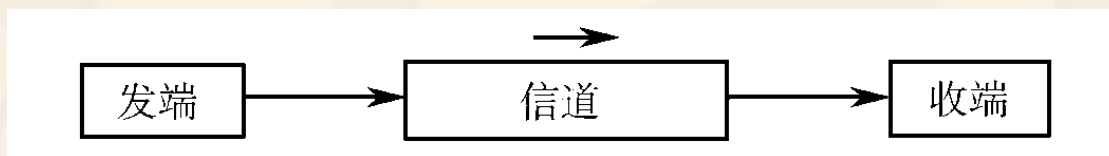
码分多址  
频分多址  
时分多址  
频分复用  
时分复用

8)按调制方式分 { 基带传输系统-无调制  
带通传输系统：调制方式分类，  
详见表1-1

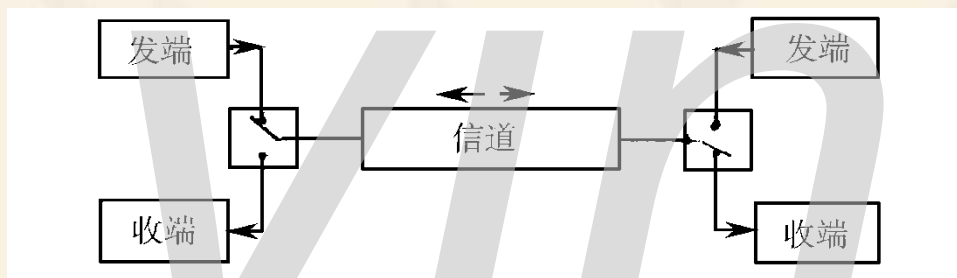
9)按通信方式分 { 单工通信  
半双工通信  
全双工通信

10) 按通信信号传输方式分 { 并行通信  
串行通信

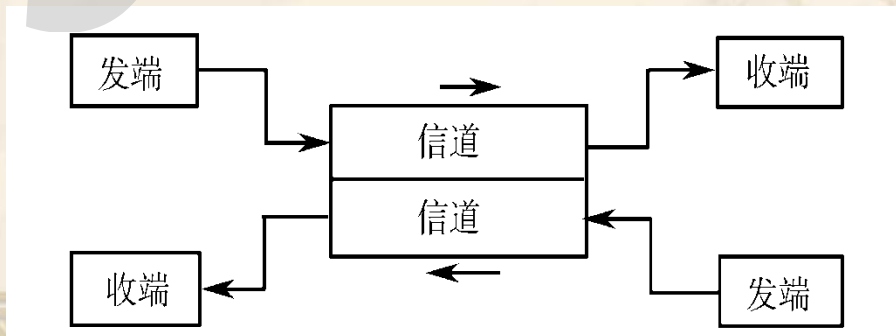
- ❖ 单工通信 (**simplex**): 消息只能单方向传输。例: 广播系统



- ❖ 半双工通信 (**half-duplex**): 通信双方都能收发消息, 但不能同时收发 (因为共用同一信道)。例: 对讲机



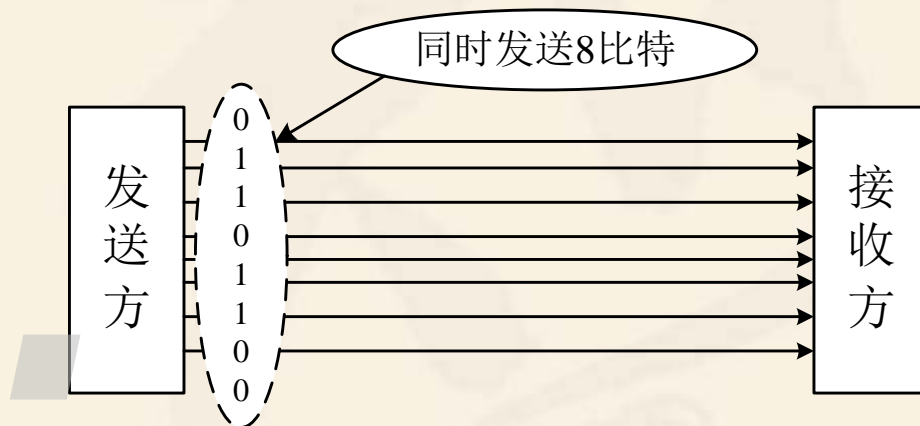
- ❖ 全双工通信 (**full-duplex**): 通信双方可同时进行收发消息。例: 有线/无线电话





❖ **并行传输：** 数字信号码元序列以成组的方式在并行信道上同时传输

- ☞ 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



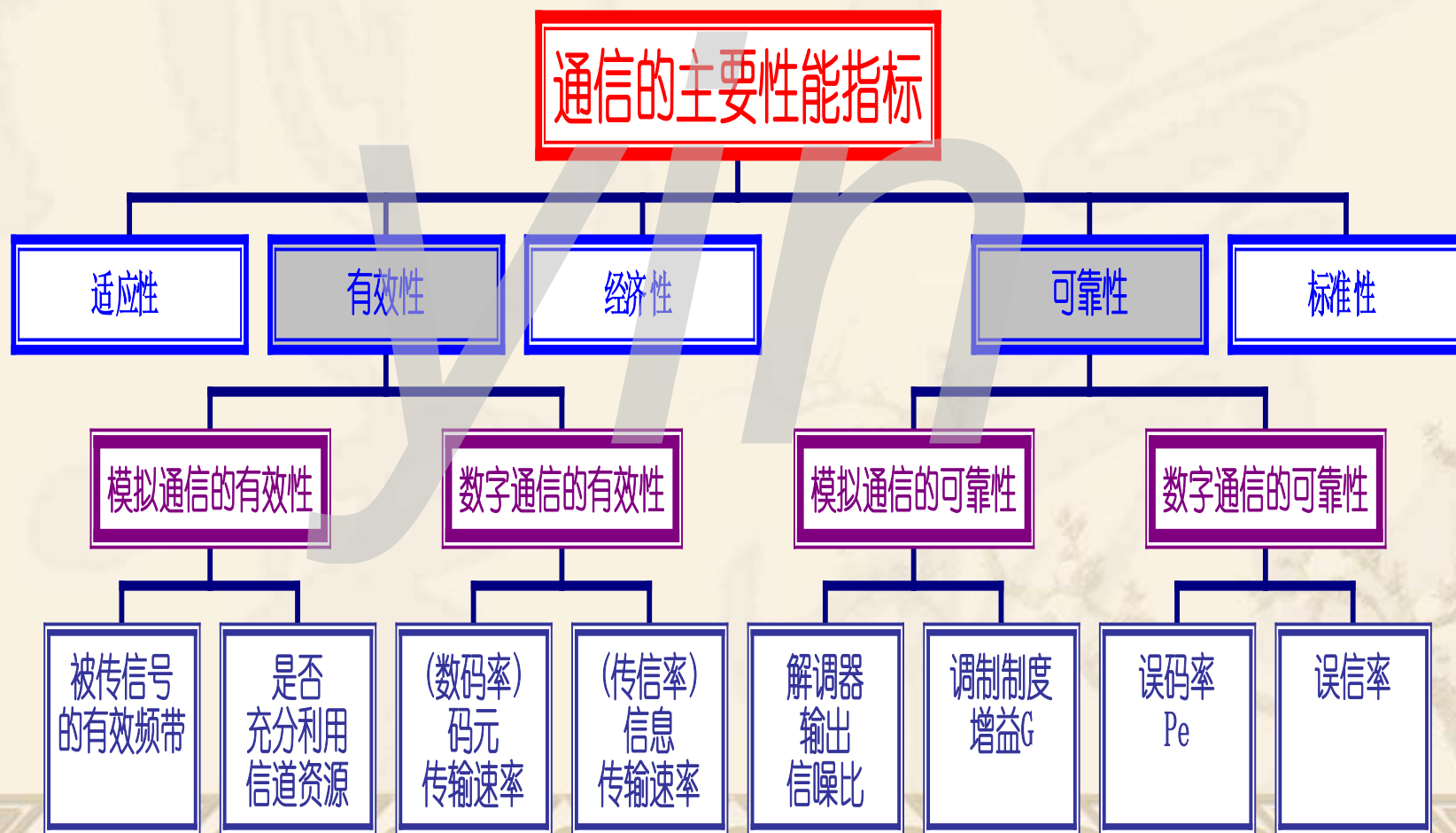
❖ **串行传输：** 数字信号码元序列以串行方式在一条信道上传输

- ☞ 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



# 通信系统概述\_通信系统质量指标

❖ 设计和评价通信系统时，主要关心哪些方面？



## ❖ 有效性与可靠性

∞ 有效性：指传输一定信息量时所占用的信道等资源（频带宽度和时间间隔）。

∞ 可靠性：指接收信息的准确程度。

∞ 模拟通信系统：

❖ 有效性：有效传输频带

❖ 可靠性：接收端最终输出信噪比

∞ 数字通信系统：

❖ 有效性：用传输速率和频带利用率来衡量。

❖ 可靠性：误码率和误信率。

# 通信系统质量指标

## ❖ 工作频段——参见表1-2

❧ GSM: 900MHz (下行935-960MHz, 上行890-915MHz)

❧ 窄带CDMA: 800MHz

❧ 3G: 2000MHz

## ❖ 发射功率

## ❖ 可靠性——输出信噪比与误码率

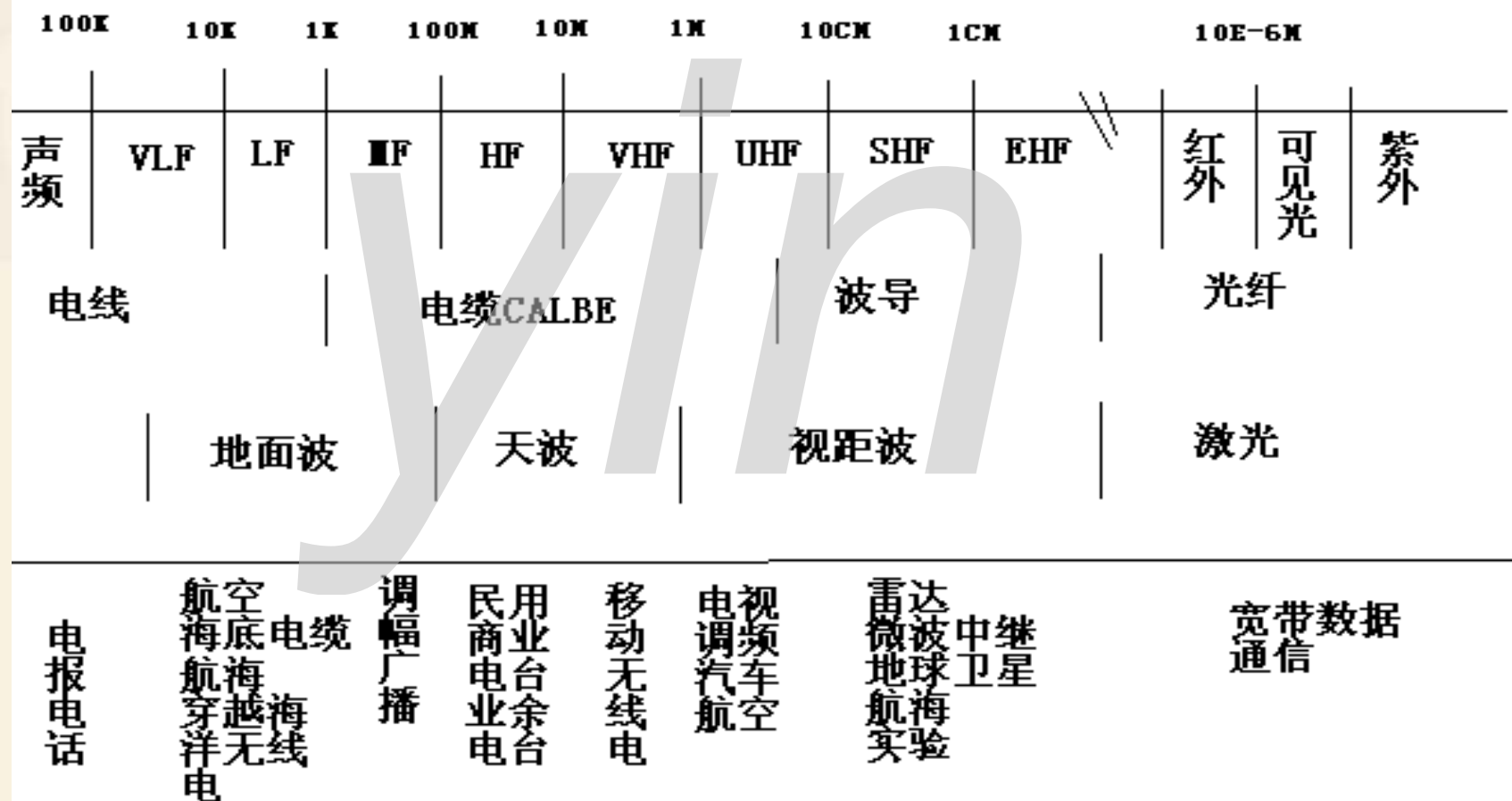
## ❖ 有效性——频带宽度与频带利用率 (平均每赫兹传送比特数)

❧ 移动通信适宜的微波频段为300-3000MHz, 实际可用的仅有700MHz带宽



# 电磁波频谱示意图

$$C \text{ (光速)} = \text{波长} \times \text{频率}$$



# 数字通信系统有哪些指标？

## ❖ 传输速率

∞ 码元传输速率 $R_B$ ：单位时间（每秒）传送码元的数目，单位为波特（Baud），简记为B。

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

式中 $T$  — 码元的持续时间（秒）

∞ 比特（信息）传输速率 $R_b$ ：单位时间内传递的比特数或平均信息量，单位为比特/秒，简记为 b/s ，或bps

∞ 码元速率和比特速率的关系

$$R_b = R_B \log_2 M \quad (\text{b/s}) \qquad R_B = \frac{R_b}{\log_2 M} \quad (\text{B})$$

- ❖ 对于二进制数字信号： $M = 2$ ，码元速率和比特速率在数量上相等。
- ❖ 对于多进制，例如在八进制（ $M = 8$ ）中，若码元速率为1200 B，则比特速率为3600 b/s。

❖ **频带利用率**：单位带宽（1赫兹）内的传输速率

$$\eta = \frac{R_B}{B} \quad (\text{B/Hz}) \qquad \eta_b = \frac{R_b}{B} \quad \text{b}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$$

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

❖ **误信率，又称误比特率**  $P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$

在二进制中有  $P_b = P_e$

# 第一章 绪论

## ❖1 引言

## ❖2 通信系统概述

## ❖3 《通信原理》的学习

- 与其它课程的关系
- 与计算机技术的关系、通信系统仿真
- 学习方法与建议



# 电子信息技术研究的主要技术问题



- ❖ 《通信原理》课的重要性——阐述了通信的基本理论和方法，是必修的专业基础课程。

## 信息传输的主要理论

编码理论

调制理论

检测理论

在大学《通信原理》课程中讲授

## 信息传输的其他课程

移动通信

锁相技术

程控交换

通信系统

通信网

微波技术及天线

通信软件

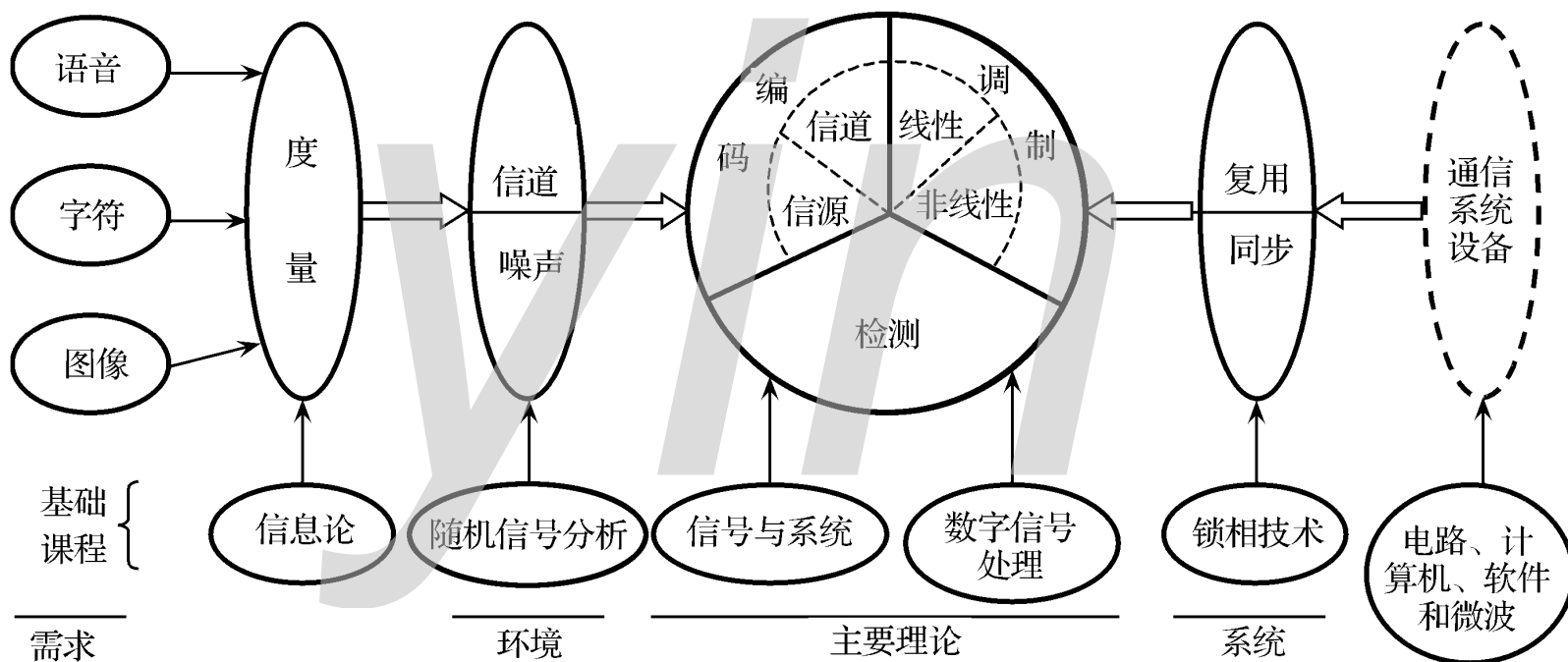
数字视频技术

电视原理

通信系统仿真（等）

信息传输的理论和技术在电子信息科学技术中占有很大比重。

# 《通信原理》与其他课程的关系



## ❖ 《通信原理》课程特点：

- ∞ 概念性、系统性强
- ∞ 与先修课程联系紧密

## ❖ 先修课程

- ∞ 高等数学
- ∞ 概率论与随机过程
- ∞ 信号与系统
- ∞ 随机信号分析
- ∞ 通信电子线路



## 参考书目-中文

- ❖ 《现代通信原理》 曹志刚 钱亚生编 清华大学出版社 1992年
- ❖ 《信息传输原理》 欧阳长月主编 北京航空航天大学出版社 1995年
- ❖ 《通信系统-电子通信中信号与噪声引论》  
A.B.卡尔逊著西安交大出版社 1992年

## 参考书目-英文

- Leon W. Couch, II, Digital and Analog Communication Systems, Sixth Edition, Prentice Hall.
- R. Ziemer & W. Tranter, Principles of Communication Systems, Fifth Edition, John Wiley & Sons.
- H. Taub and D. Schilling, Principles of Communication Systems, Second Edition, McGraw-Hill.
- A. B. Carlson, P. B. Crilly and J. C. Rutledge, Communication Systems, Fourth Edition, McGraw-Hill.
- Simon Haykin, An Introduction to Analog and Digital Communications, John Wiley & Sons.

# 与计算机技术的关系

## ❖ 当今通信网络的三大技术：

- ❧ 传输技术；
- ❧ 交换技术；
- ❧ 接入技术

## ❖ 所有的信息交换都要由计算机控制的

## ❖ 所有的业务接入都需要计算机来管理

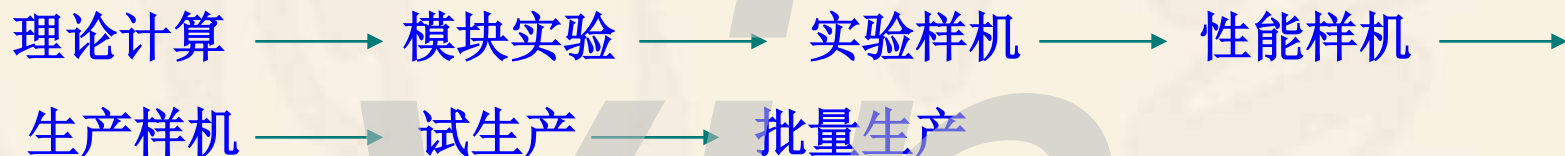
## ❖ 所有的通信系统和网络都需要数据库的支持

## ❖ 通信系统对操作系统有较高的要求：实时、多任务

## ❖ 对于电信专业的学生来讲，计算机不仅是工具，而且也是开发的平台和对象

# 通信系统仿真

通信系统的传统设计方法：

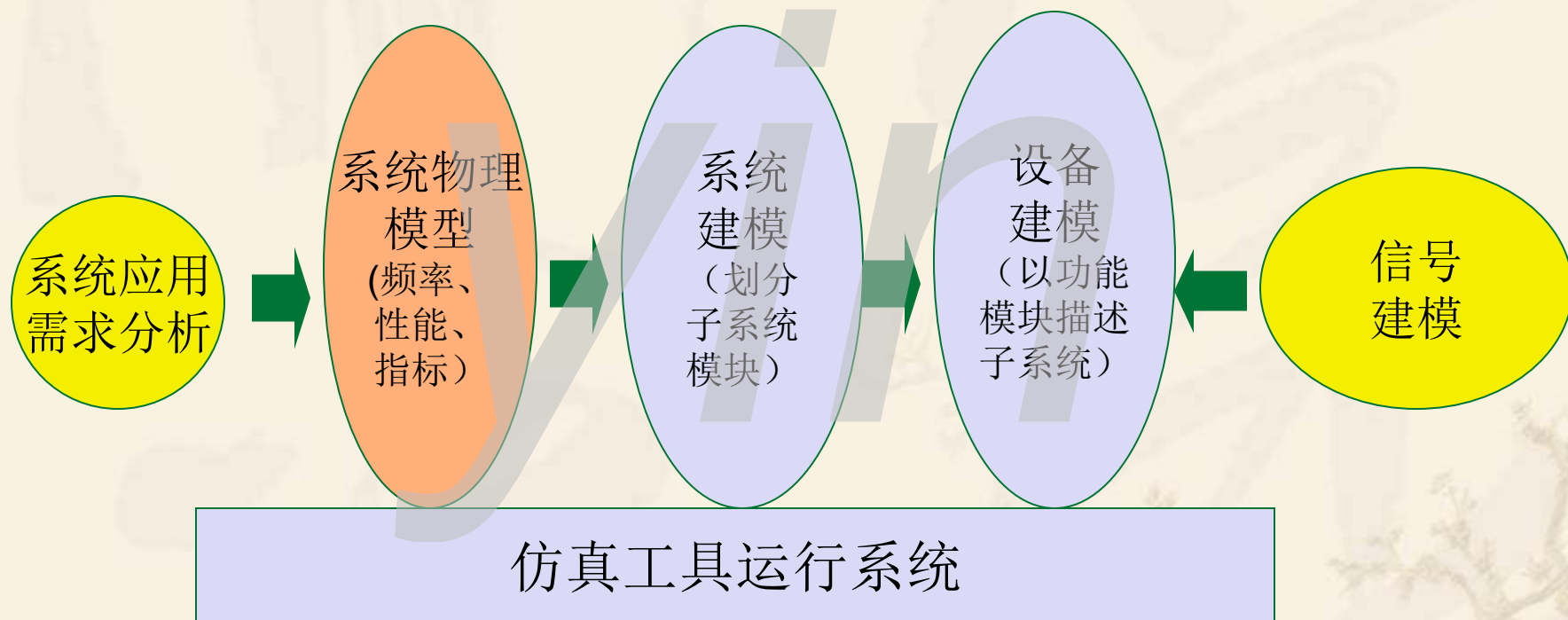


## ❖ 仿真研究的优点

- ❧ 便于获取系统的最佳参数组合
- ❧ 便于模拟环境参数变化对设备工作造成的影响
- ❧ 缩短产品研发周期，节省投资
- ❧ 减少设计差错



## ❖ 仿真方法



## ❖ 仿真工具

❧ 常用仿真工具：**SIMULINK、MATLAB**等等

❧ 仿真软件的基本组成：

- ❖ 建模器----代码方式、图形方式
- ❖ 模型库----信源、信道、编码器、译码器、调制、解调、信道复用、噪声干扰、滤波、均衡等功能模块
- ❖ 仿真核-----运行、管理和控制仿真过程
- ❖ 后处理-----完成仿真结果分析、数据分析，给出系统指标参数

# 《通信原理》体系构建与讲课顺序

## ❖ 通信系统与网络：14章通信网（自学）

- ∞ 一对一通信
- ∞ 一对多通信
- ∞ 通过网络的通信

## ❖ 组成通信系统的各部分与相关章节

∞ 信道：4章

∞ 模拟系统：

- ❖ 基带传输
- ❖ 带通传输：5章、13章（同步）

∞ 数字系统

- ❖ 基带传输：9章（模拟信号数字化及复用）、6章（基带传输）
- ❖ 带通传输：9章、11章（信道编码，自学）、6章、7-8章（数字调制）、10章（数字接收）、13章

# 教学方法简介

- ❖ 重点在概念和原理介绍
- ❖ 课堂练习和课外自学结合
- ❖ 实验验证(软件与硬件结合)
- ❖ 综合考核：平时表现、作业、实验、期末考试



## ❖ 关于学习方法的建议

- ❧ 看书、消化教材是学习好本课程的主要方式；
- ❧ 上课时思维紧跟老师积极思考；上完课及时复习；学完一章进行小结；
- ❧ 前后章节的内容需要联系起来以形成完整的认识；
- ❧ 记住概念、知道物理含义及其关系、注意假设和条件
- ❧ 做习题、实验课加深概念和理解；有余力可尝试仿真实验。
- ❧ 阅读参考资料，养成批判性、质疑性、多角度思维习惯；

方法比结果更重要

# 本章结束

习题：1-2、1-6、1-7

# 先行自学内容

## 第2章 确知信号：

关于信号的描述，其内容的影响贯穿本课程各章节

## 第3章 随机过程：

主要与第4章（信道）有关

## 第14章 通信网：

对通信系统与网络的整体性初步认识。