

《通信原理》

(01 通信基本概念)

蔡志岗

光学与光学工程系

中山大学物理学院

lasers@netease.com

13316105077

光信息实验室：84110909

84110909

第一章 绪论

1.1 引言

1.2 通信系统模型

1.3 通信系统分类及通信方式

1.4 信息及其度量

1.5 通信系统的主要性能指标

1.1 引言

在人类社会中，人与人之间进行思想情感的交流离不开信息的传递。

古代的烽火台、驿站；

现代的电报、电话、传真、电子信箱、广播、电视等都是传递信息的手段和方式。

自然界中，人们听到、观察到的现象，可用语言、文字、图像等信息来表达、存储或传递。

现在，**信息**被认为是人类社会重要的资源之一。

信息是什么？ 什么是信息？

Information
信息

Message
消息

Signal
信号

Meaning
意思

通信的基本概念

通信的目的：传递消息中所包含的信息。

- 消息：是物质或精神状态的一种反映，例如语音、文字、音乐、数据、图片或活动图像等。
- 信息：是消息中包含的有效内容。
- 实现通信的方式和手段：
 - 非电的：如旌旗、消息树、烽火台...
 - 电的：如电报、电话、广播、电视、遥控、遥测、因特网和计算机通信等。

近代社会，人们常将信息的传递和交换，俗称**通信**——**异地间**人与人、人与机器、机器与机器进行信息的传递和交换。

语言、文字、图像等**消息**是不能直接在通信系统中传递，为此需在发送端将它们转换成电（光）信号（即**信源**）来载荷，**电信号**经通信系统传送至接收端，收端将电信号还原成语言、文字、图像等包含的**信息**。

通信中**信息的传送**是通过**信号**来进行的，
如：电压、电流信号等。

信号是信息的载荷者。在各种各样的通信方式中，利用“**电信号**”来承载信息的通信方式称之为**电通信**。

如今，在自然科学中，“通信”与“电通信”几乎是同义词。

电信行业中认为“光通信”是“电通信”的一部分。

通信系统的基本概念

★ **通信**：信息（或消息）的传输和交换。
（要求 准确、迅速）

★ **消息**：信息的 **物理表现形式**。如符号、文字、
话音、数据或图像等。

★ **信息**：消息的内涵，即信息是消息中所包含
的 **人们 原来不知 而待知 的内容**。

★ **电通信**：是利用 **电**（**电流或电波**，包括**光**）
来传递信息。

现代通信一般均是指“电通信”。

★ **信号**：消息的电的表示形式。在电通信系统中，
电信号是消息传递的物质载体。

★ **通信系统**：是完成传递信息任务所需要的一切
技术**设备**和传输**媒介**所构成的总体。

信息的定义

- 广义信息（无确切的定义）

- 是从不知到确知的过程中的内涵实体□

- 狭义信息（语法信息）

- 基于概率论的信息熵定义：现代信息技术发展的基础

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) (bit / 符号)$$

信息源的熵

1.2 通信系统模型

1.2.1 通信系统的一般模型

我们把实现信息传输所需一切设备和传输媒介所构成的总体称为通信系统。

以**点对点通信**为例，通信系统的一般模型如图1-1所示。

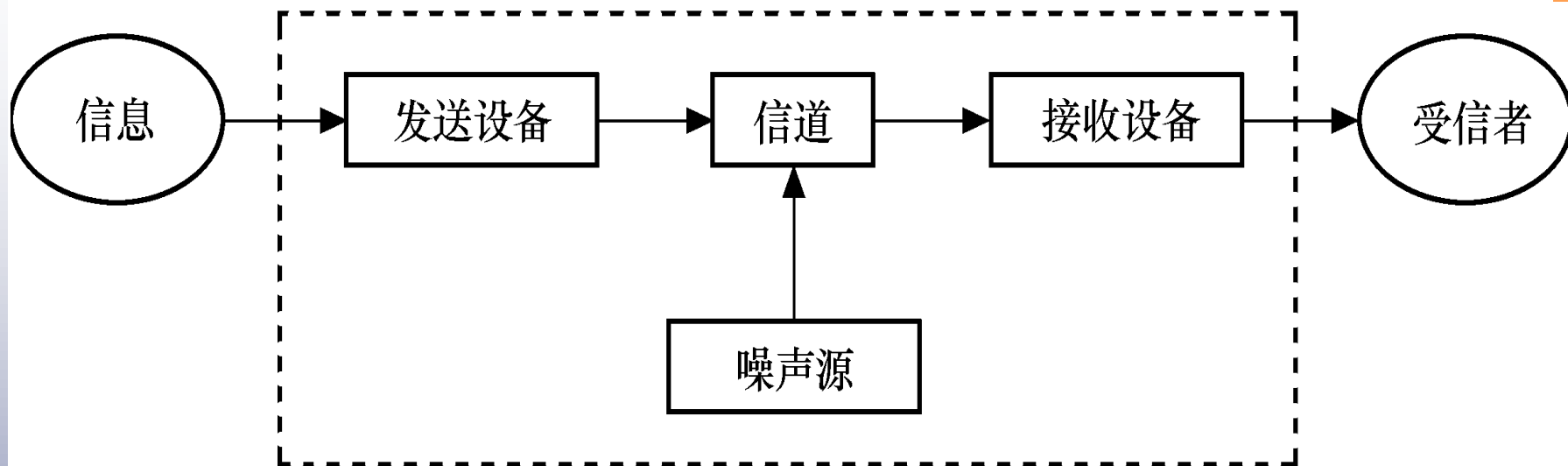


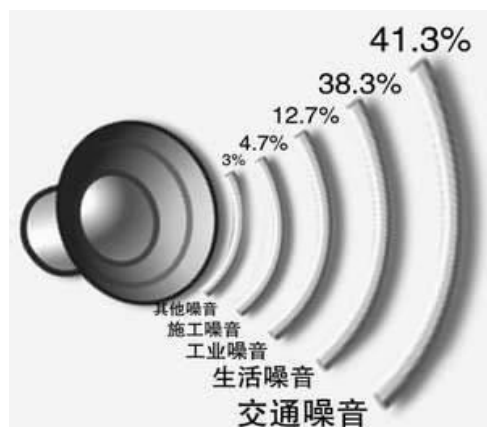
图1-1 通信系统的一般模型

图1-1中，**发送设备**的作用一方面是把信息转换成原始电信号，该原始电信号称为**基带信号**；另一方面将原始电信号处理成**适合在信道中传输的信号**。

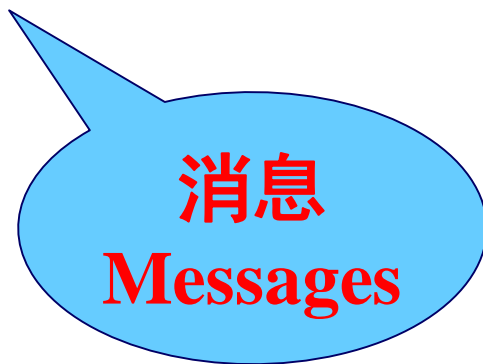
发送设备的功能：调制、放大、滤波和发射等，在数字通信系统中发送设备又常常包含信源编码和信道编码等。

信道是指信号传输通道，按传输媒介的不同，可分为有线信道和无线信道两大类。

噪声源，是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其它各处噪声的集合。



在接收端，**接收设备**的功能与发送设备相反，即进行**解调**、**译码**等。它的任务是从带有干扰的接收信号中**恢复**出相应的原始电信号，并将原始电信号转换成相应的**信息**，提供给受信者。



1.2.2 模拟通信系统模型

传输模拟信号的系统称为**模拟通信系统**。如图 1-2 所示。

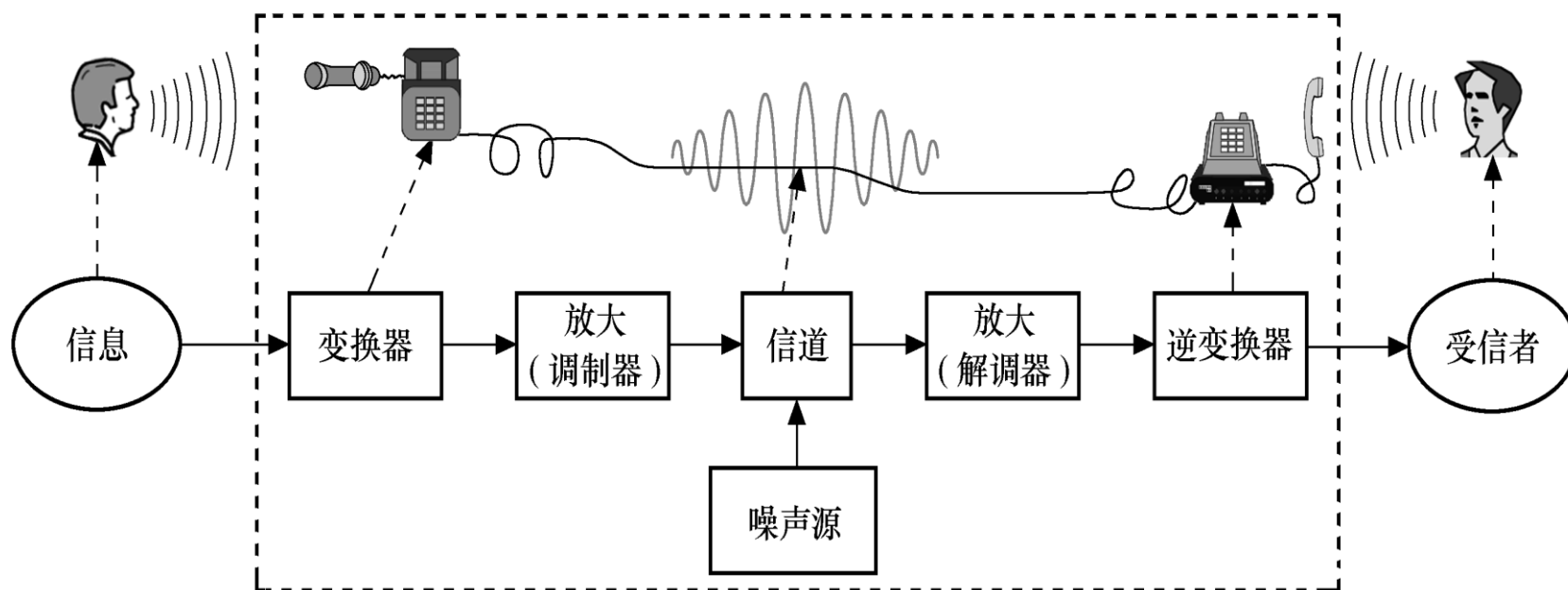


图1-2 模拟通信系统模型

我们以**语音信号**为例来说明图1-2模拟通信系统模型各部分的作用。

发信人讲话的语音信息首先经变换器将语音信息变成电信号（模拟信源），然后电信号经放大设备后可以直接在信道中传输。



为了提高频带利用率，使**多路信号**同时在信道中传输，原始的电信号（基带信号）一般要进行调制才能传输到信道中去。

调制是信号的一种变换，通常是将不便于信道直接传输的基带信号变换成适合信道中传输的信号。

在收端，经**解调器**和逆变换器还原成语音信息。

1.2.3 数字通信系统模型

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统。

- 数字**频带**传输通信系统
- 数字**基带**传输通信系统

一、数字频带传输通信系统

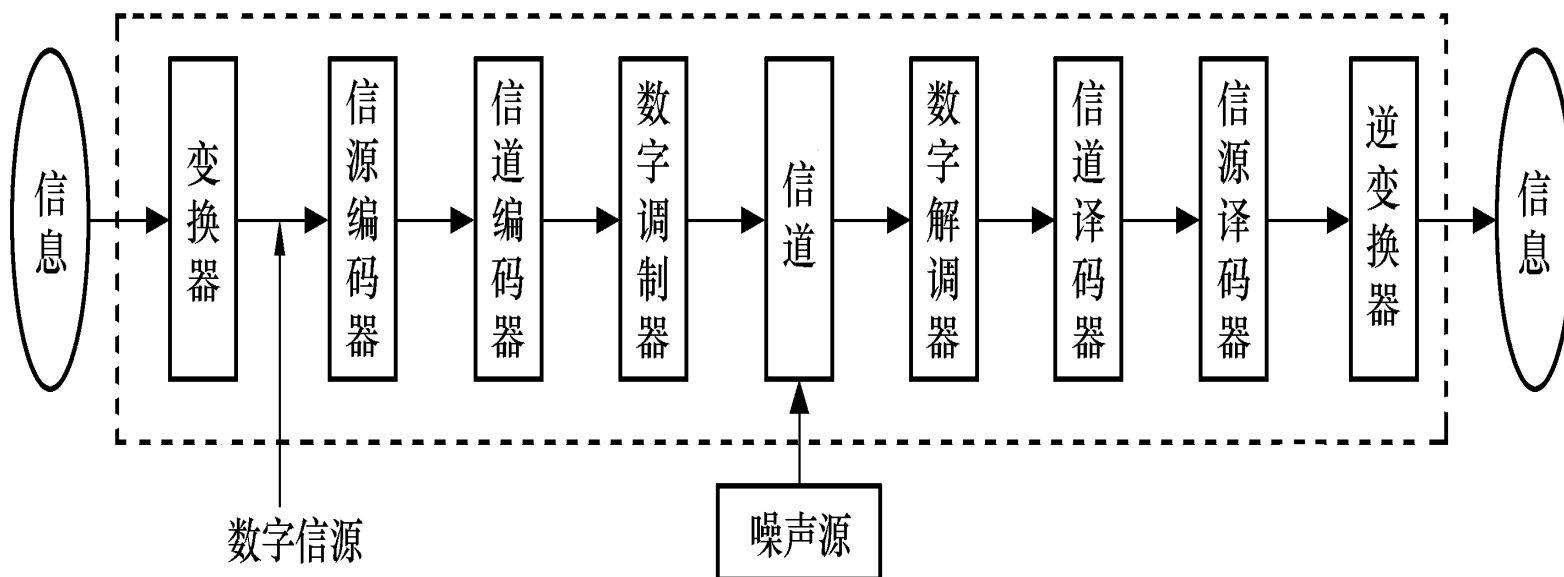


图1-3 数字通信系统模型

变换器的作用是把信息转换成数字基带信号。

信源编码的主要任务是提高数字信号传输的有效性。信源编码器的输出就是信息码元,此外, 话音和图像压缩编码等都是在信源编码器内完成。

接收端信源**译码**则是信源编码的逆过程

信道编码的任务是提高数字信号传输的可靠性。其基本做法是在信息码组中按一定的规则附加一些**监督码元**，以使接收端根据相应的规则进行检错和纠错，信道编码也称**纠错编码**。

接收端**信道译码**是其相反的过程。

数字通信系统还有一个非常重要的控制单元：

同步系统（图1-3没有画出）：它可以使通信系统的收、发两端或整个通信系统，以精度很高的时钟提供定时，以使系统的数据流能与发送端同步、有序而准确地接收与恢复原信息。

二、数字基带传输通信系统

与频带传输系统相对应，我们把没有**调制器/解调器**的数字通信系统称为数字基带传输通信系统，如图1-4所示。

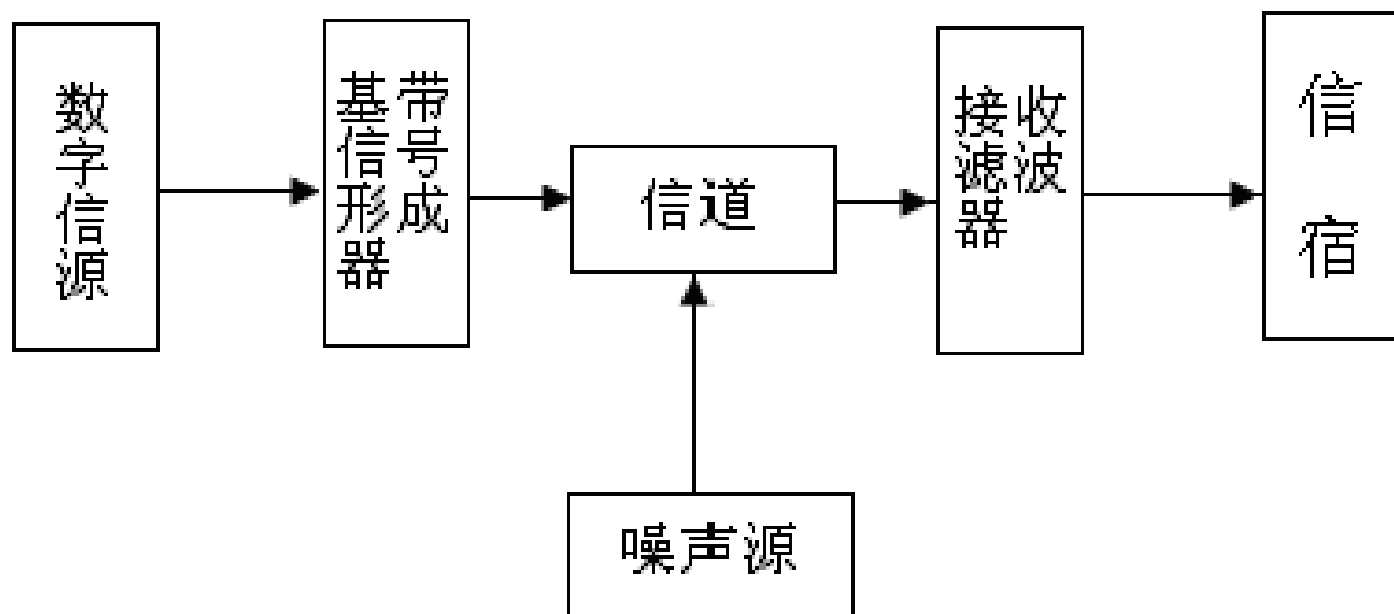
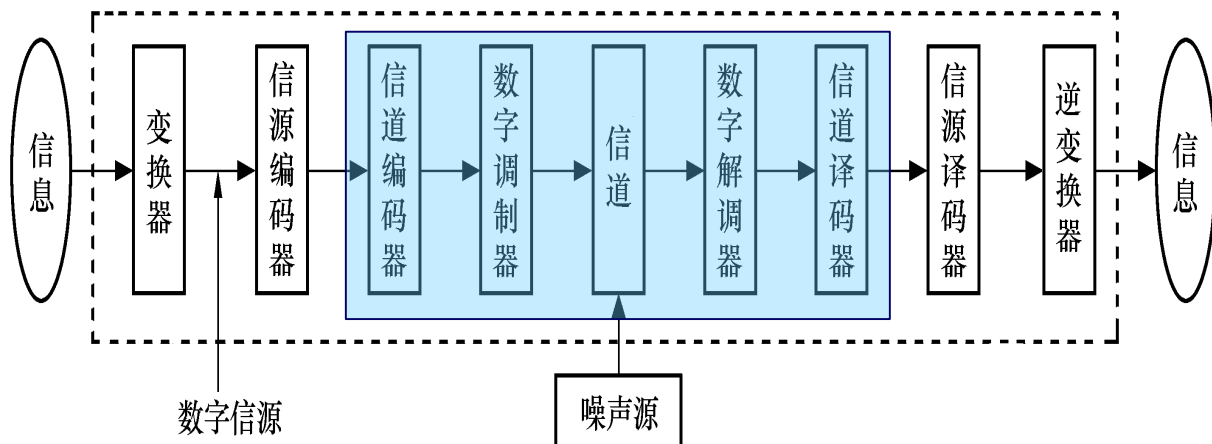


图1-4 数字基带传输系统模型

基带信号形成器可能包括编码器、加密器以及波形变换等，

接收滤波器亦可能包括译码器、解密器等。



三、 数字通信的主要特点

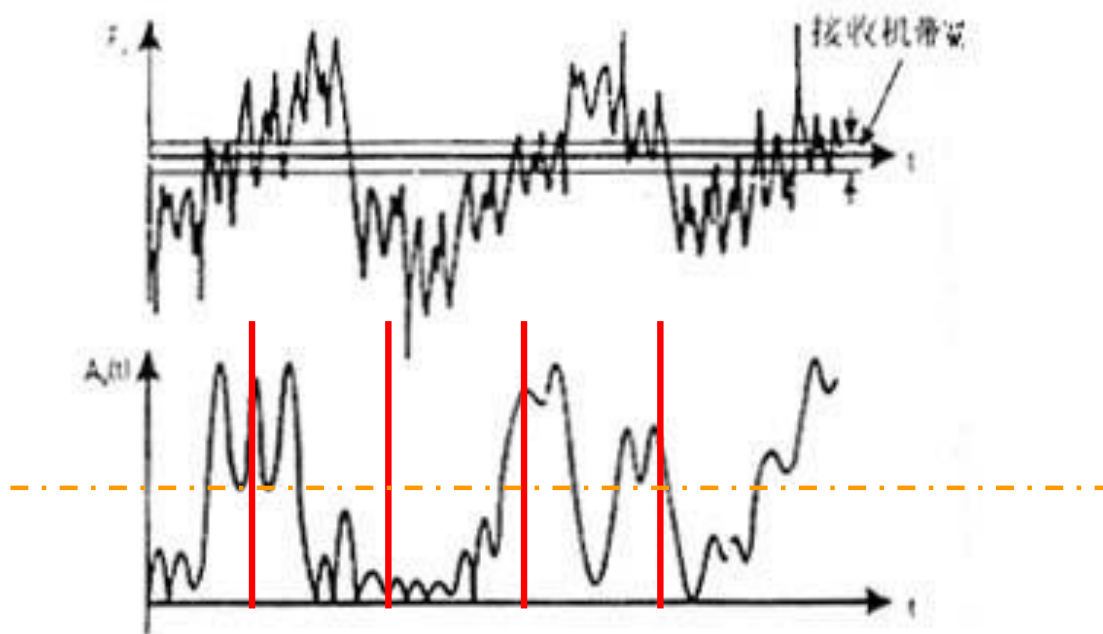
目前，无论是模拟通信还是数字通信，在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是，数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求，数字通信技术已成为当代通信技术的主流。与模拟通信相比，它有如下优点：

1、抗干扰、抗噪声性能好

在数字通信系统中，传输的信号是数字信号。以二进制为例，信号的取值只有两个：“1”，“0”

传输过程中受到信道噪声的影响，会使波形失真，但在接收端恢复信号时，只要不影响判决的正确性，即使波形有失真也不会影响再生后的信号波形。

而在模拟通信中，如果模拟信号叠加上噪声后，即使噪声很小，也很难消除它。



2、差错可控

数字信号在传输过程中出现的错误（差错），可通过**纠错编码技术**来控制。

3、易加密

数字信号与模拟信号相比，容易加密和解密。因此，数字通信保密性好。

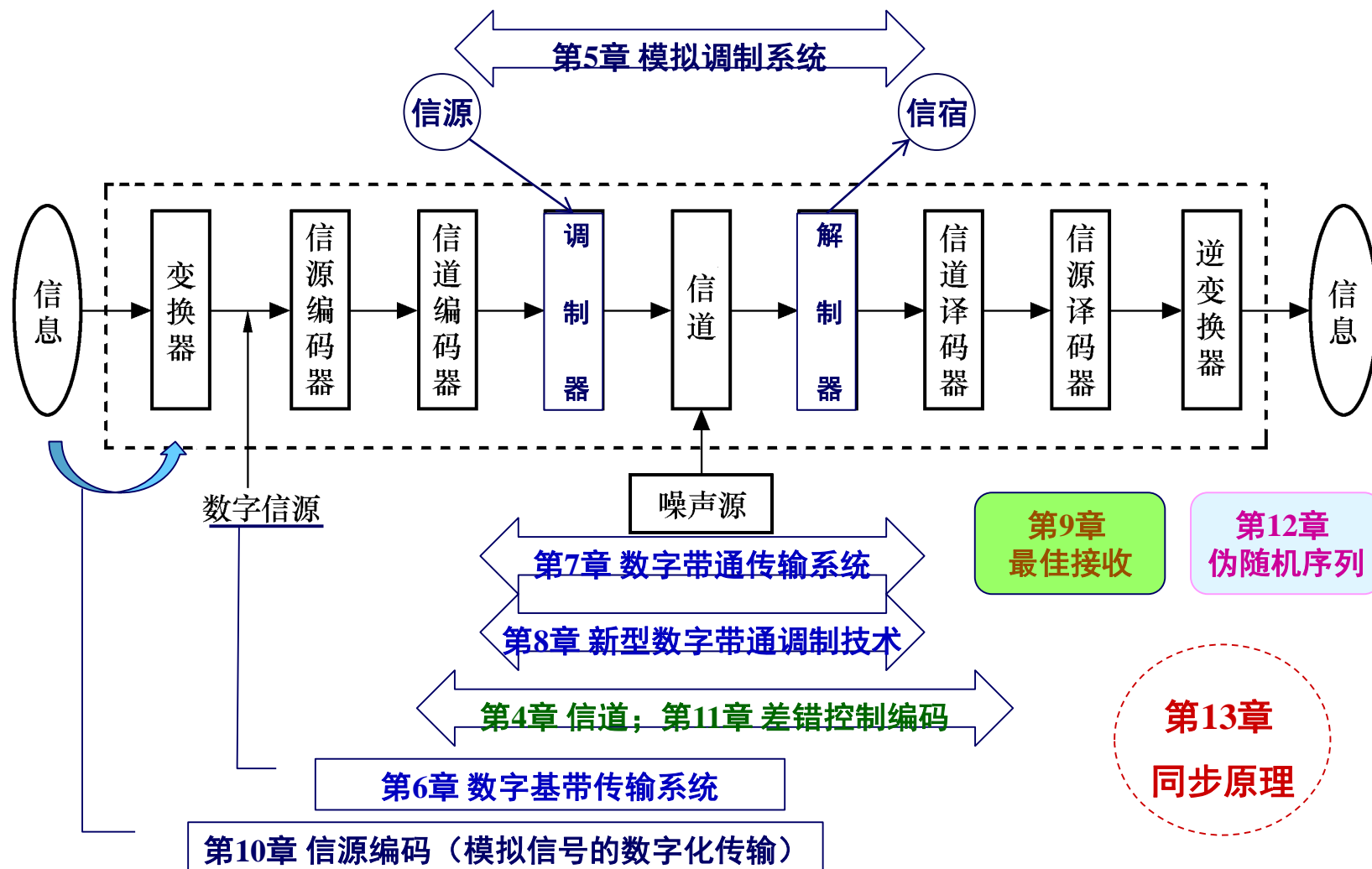
4、数字通信设备和模拟通信设备相比，设计和制造更容易，体积更小，重量更轻。

5、数字信号可以通过信源编码进行压缩，以减少冗余度，提高信道利用率。

6、易于与现代技术相结合。

符合现代技术发展方向

本课程大致内容分布



1.3 通信系统分类及通信方式

按照不同的分法，通信可分成许多类别，下面我们介绍几种较常用的分类方法。

1、按传输媒质分类

按传输媒质分：

有线通信系统

无线通信系统。

有线通信系统是用导线或导引体作为传输媒质完成通信的，如**架空明线、同轴电缆、海底电缆、光导纤维、波导**等。

无线通信系统是依靠**电磁波**在**空间**传播达到传递信息的目的，如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

2、按信号的特征分

前面已经指出，按照携带信息的信号是**模拟信号**还是**数字信号**，可以相应地把通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。

按通信设备的工作频段：通信系统可分为

**长波通信、 中波通信、
短波通信、 微波通信等。**

表1.3-1列出了通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途。

表 1.3-1 中，工作波长和频率的换算公式为

$$\lambda = \frac{\lambda c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} = \frac{0.3 \times 10^9}{f} \quad (1.1)$$

式 (1.3-1) 中， λ 为工作波长 (m)， f 为最高工作频率 (Hz)， c 为光速 (m/s)

表 1.3-1 通信频段、常用传输媒质及主要用途

频率范围	波 长	符 号	传 输 媒 质	用 途
3Hz~30kHz	$10^4 \sim 10^8 \text{m}$	甚低频 VLF	有线线对 长波无线电	音频、电话、数据终端长距离导航、时标
30~300kHz	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$	低频 LF	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300kHz~3MHz	$10^2 \sim 10^3 \text{m}$	中频 MF	同轴电缆 短波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~30MHz	$10 \sim 10^2 \text{m}$	高频 HF	同轴电缆 短波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30~300MHz	1~10m	甚高频 VH	同轴电缆 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆、通信、导航
300MHz~3GHz	10~100cm	特高频 UHF	波导 分米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
3~30GHz	1~10cm	超高频 SHF	波导 厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30~300GHz	1~10mm	极高频 EHF	波导 毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^7 \sim 10^8 \text{GHz}$	$3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-4} \text{cm}$	紫外可见光 红外	光纤 激光空间传播	光通信

从射频到光波，中间有个“太赫兹”

名称	符号	频率	波长	符号	名称
(射频 Radio Frequency)					
超高频	SHF	3~30GHz			
极高频	EHF	30~300GHz	10~1mm		微波
		0.1~10THz	3~0.03mm	THz	太赫兹
			30~6 μ m	FIR	远红外
		50~100THz	6~3 μ m	MIR	热红外
			3~0.7 μ m	NIR	近红外
		$\sim 500\text{THz}(10^{14})$	700~400nm	VIS	可见光
		$\sim 1\text{PHz}(10^{15}, \text{Peta})$	400~200nm	UV	紫外
			200~150nm	VUV	真空紫外
			<150nm	Soft X-ray	X射线

4、按调制方式分类

根据信道中传输的信号是否经过调制，可将通信系统分为基带传输系统和频带（调制）传输系统。

基带传输是将没有经过调制的信号直接传送，如音频市内电话；**频带传输**是对基带信号调制后再送到信道中传输。常用的调制方式及相关理论将在本书第3章、第6章和第8章中详细介绍。

5、按通信业务类型分类

根据通信业务类型的不同，通信系统可分为**电报**通信系统、**电话**通信系统、**数据**通信系统和**图像**通信系统等。

6、按信号复用方式分类

按信号复用方式，通信系统又可分为**频分复用（FDM）通信系统**、**时分复用（TDM）通信系统**、**码分复用（CDM）通信系统**和**波分复用（WDM）通信系统**等。

1.3.2 通信方式

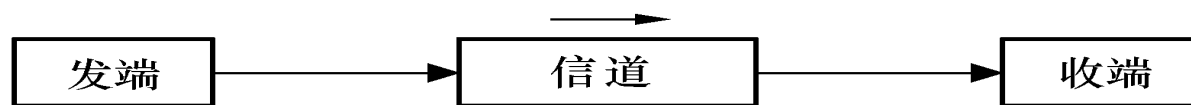
1、按信息传输的方向与时间关系划分通信方式

对于点对点之间的通信，按信息传送的方向与时间关系，通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

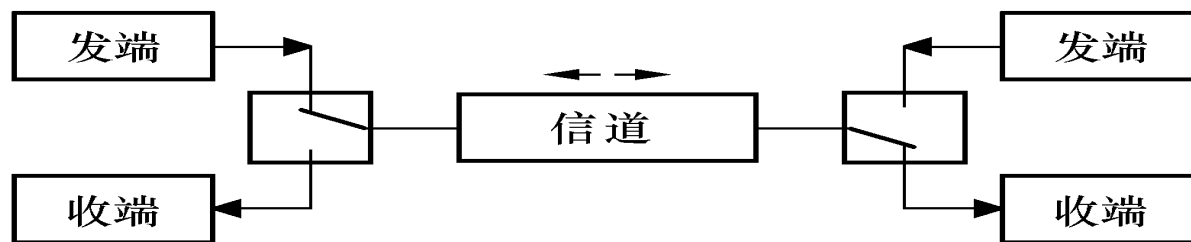
单工通信是指信息只能单方向进行传输的一种通信工作方式，如广播、遥控、无线寻呼等。这里，信号只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和 BP 机上。

半双工通信方式是指通信双方都能收发信息，但**不能同时进行**收和发的工作方式。例如无线对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

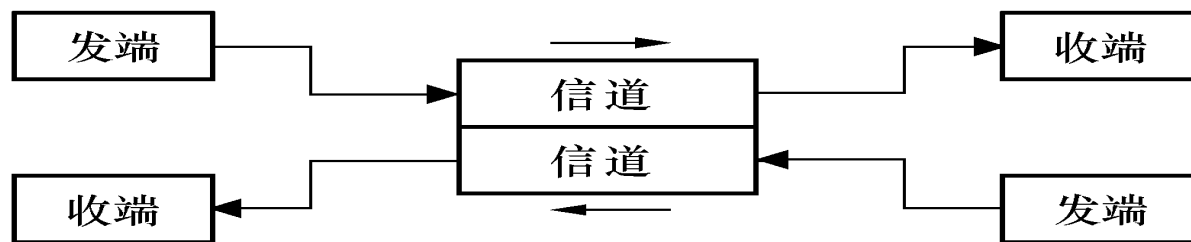
全双工通信是指通信双方可同时进行双向传输信息的工作方式。例如普通电话、**计算机通信网络**等采用的就是全双工通信方式。



(a) 单工通信



(b) 半双工通信

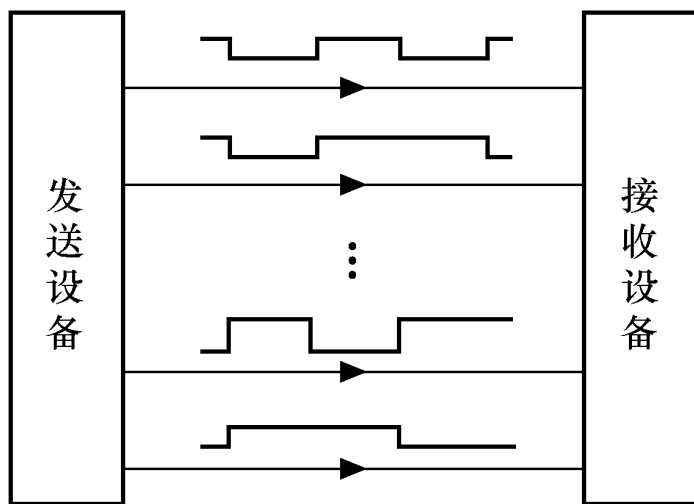


(c) 全双工通信

图1-5 通信方式示意图

2、按数字信号码元排列方式划分通信方式

在数字通信中按照数字码元排列顺序的方式不同，可将通信方式分为**串行**传输和**并行**传输。

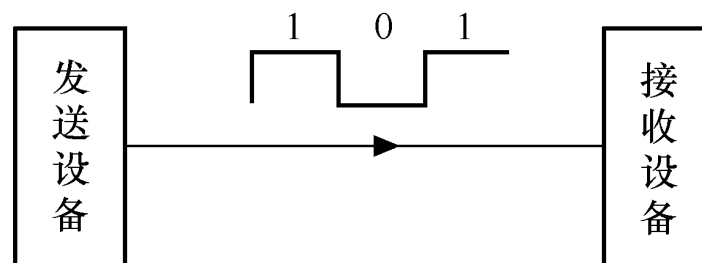


(a) 并行传输

并行传输是将代表信息的数字信号码元序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输，则称为并行传输通信方式。并行传输的优点是：

速度快、节省传输时间，但需占用频带宽，设备复杂，成本高，故较少采用，一般适用于计算机和其他高速数字系统，特别适用于设备之间的**近距离**通信。

串行传输是将代表信息的数字信号码元序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输。通常，一般的**远距离**数字通信都采用这种传输方式。



(b) 串行传输

3、按照网络结构划分通信方式

通信系统按照网络结构可分为线型、星型、树型、环型等类型。

专门为两点之间设立传输线的通信称之为**点对点通信**。多点间的通信属于**网通信**。网通信的基础仍是点对点通信。因此，本书重点讨论点对点通信的原理。

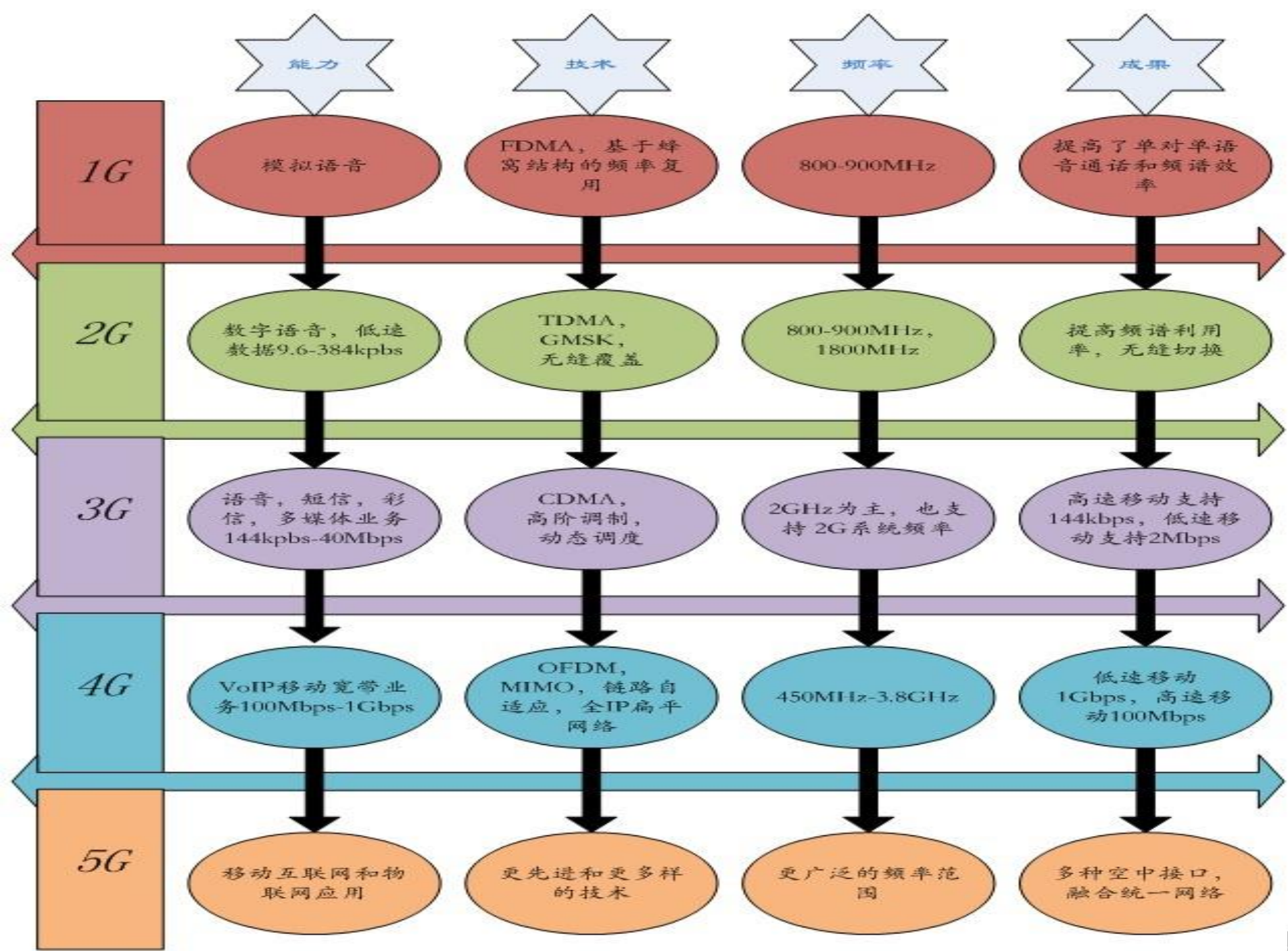
讲座：

移动通信演化史

- Samuel F. B. **Morse**
- Guglielmo Giovanni Maria **Marconi**
- Alexander Graham **Bell**

.....

中山大学理工学院



讨论：

量子通信

- 1、量子纠缠态如何用于通信的？
- 2、何谓量子通信？
- 3、“墨子号卫星” 做了什么通信？

电子版：学号+姓名+标题