

RFID原理与应用

无线通信技术

§ 1 通信原理基本知识

§ 2 无线通信与天线基础

§ 3 无线通信网络

第一节 通信原理基本知识

§ 1.1 通信系统

§ 1.2 通信信道

§ 1.3 调制解调原理

§ 1.4 信号的频域分析

1.1 通信系统

1.1.1 通信的基本概念

通信的目的是传递消息中所包含的信息。生活中的语音、文字、音乐、数据、图片等都是消息。人们接收消息，关心的是消息中所包含的有效内容，即信息。通信则是进行信息的时空转移，即把消息从一方传送到另一方。基于这种认识，“通信”也就是“信息传输”或“消息传输”。

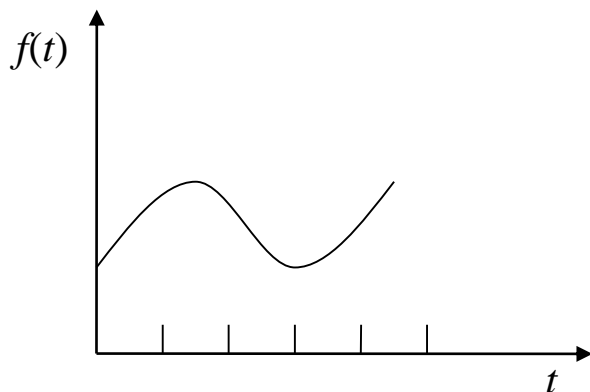


图1 模拟信号

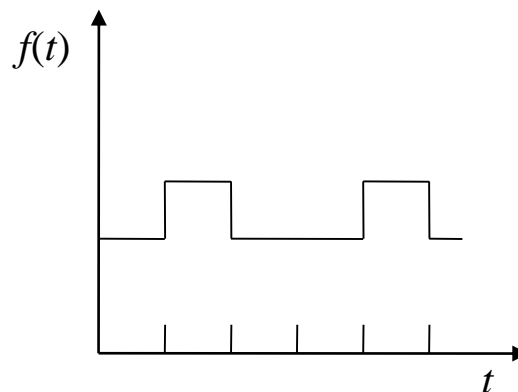
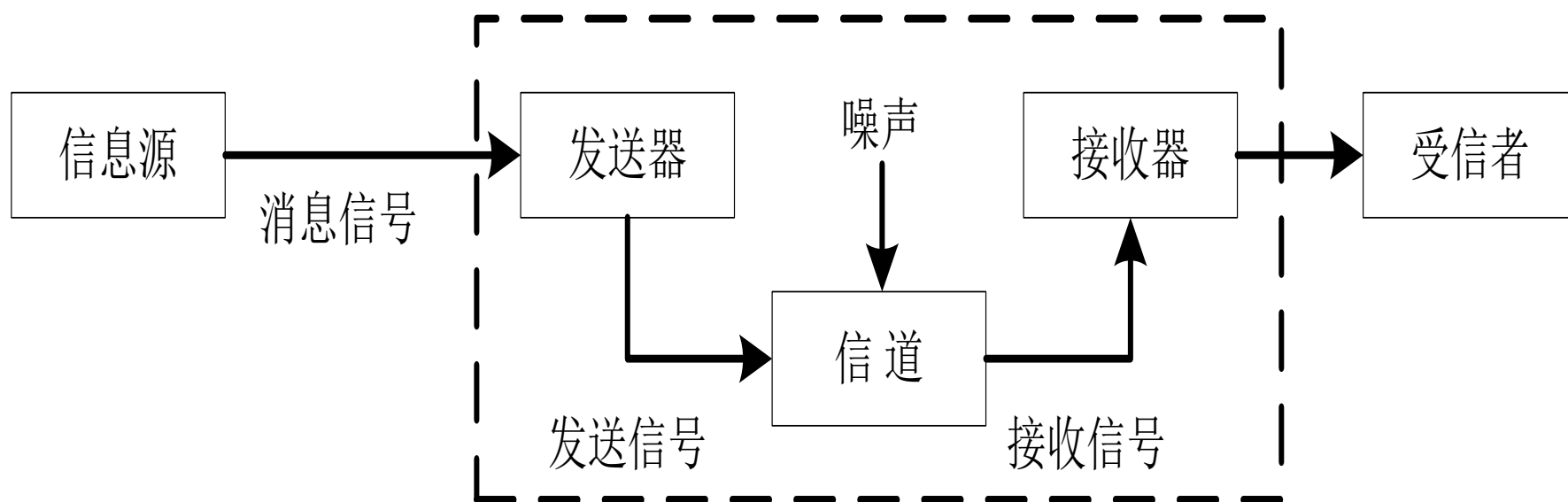


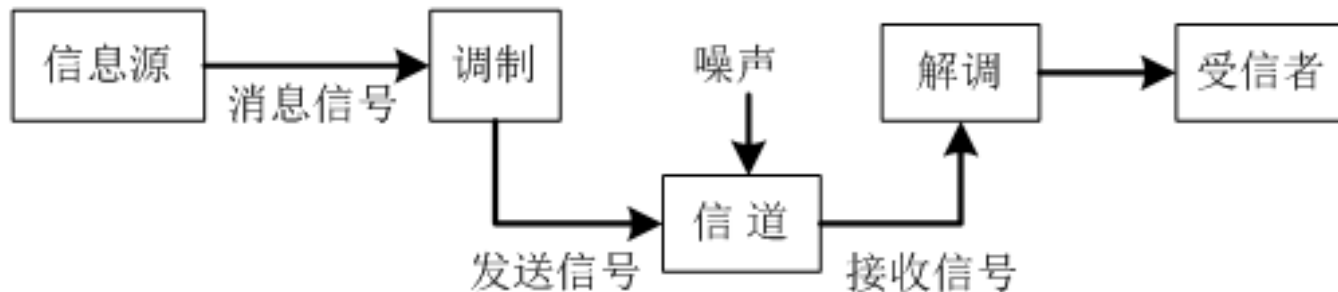
图2 数字信号

1.1 通信系统

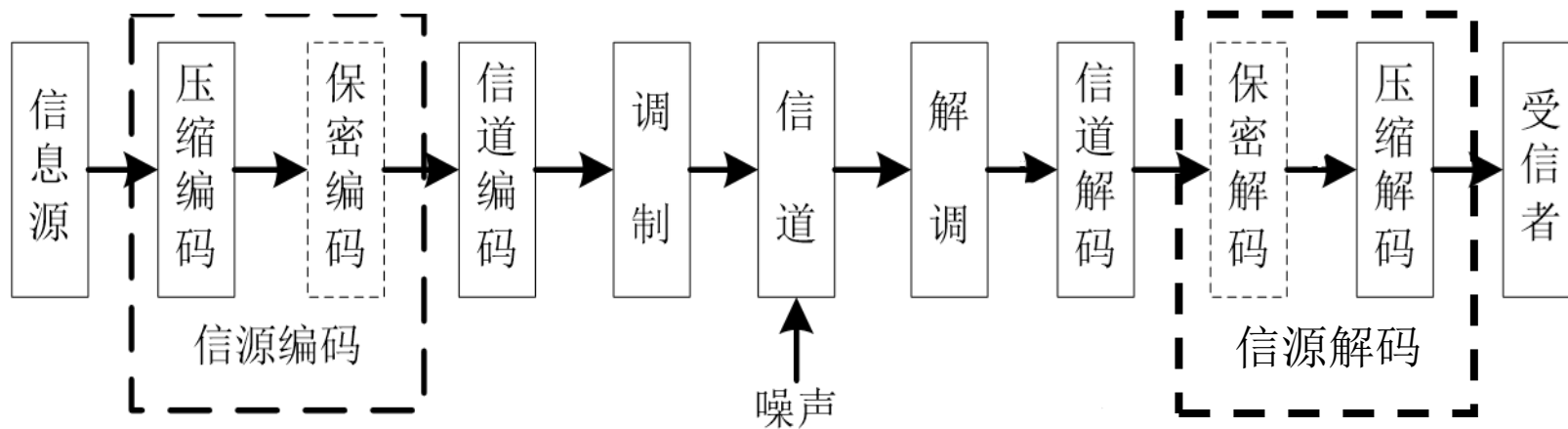
1.1.2 通信系统模型



1.1.3 模拟通信系统和数字通信系统



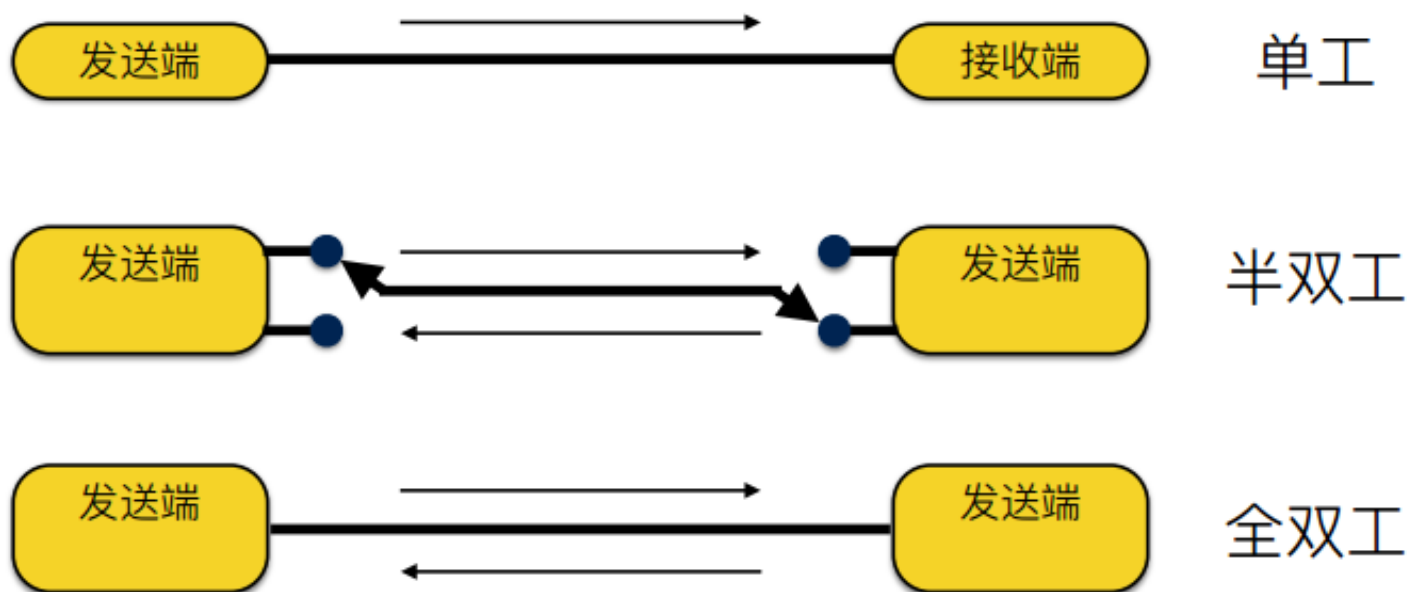
模拟通信系统



数字通信系统

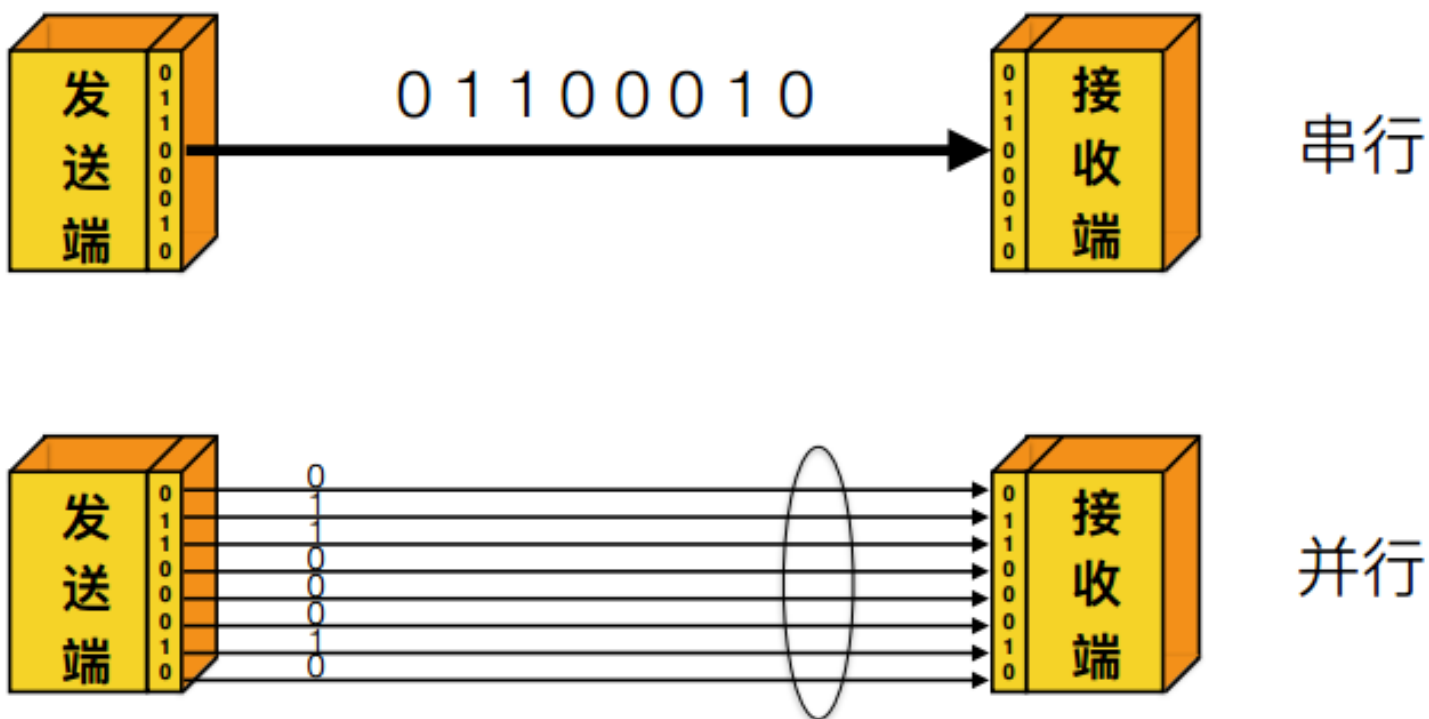
1.1.4 通信方式

(1) 单工通信、半双工通信和全双工通信



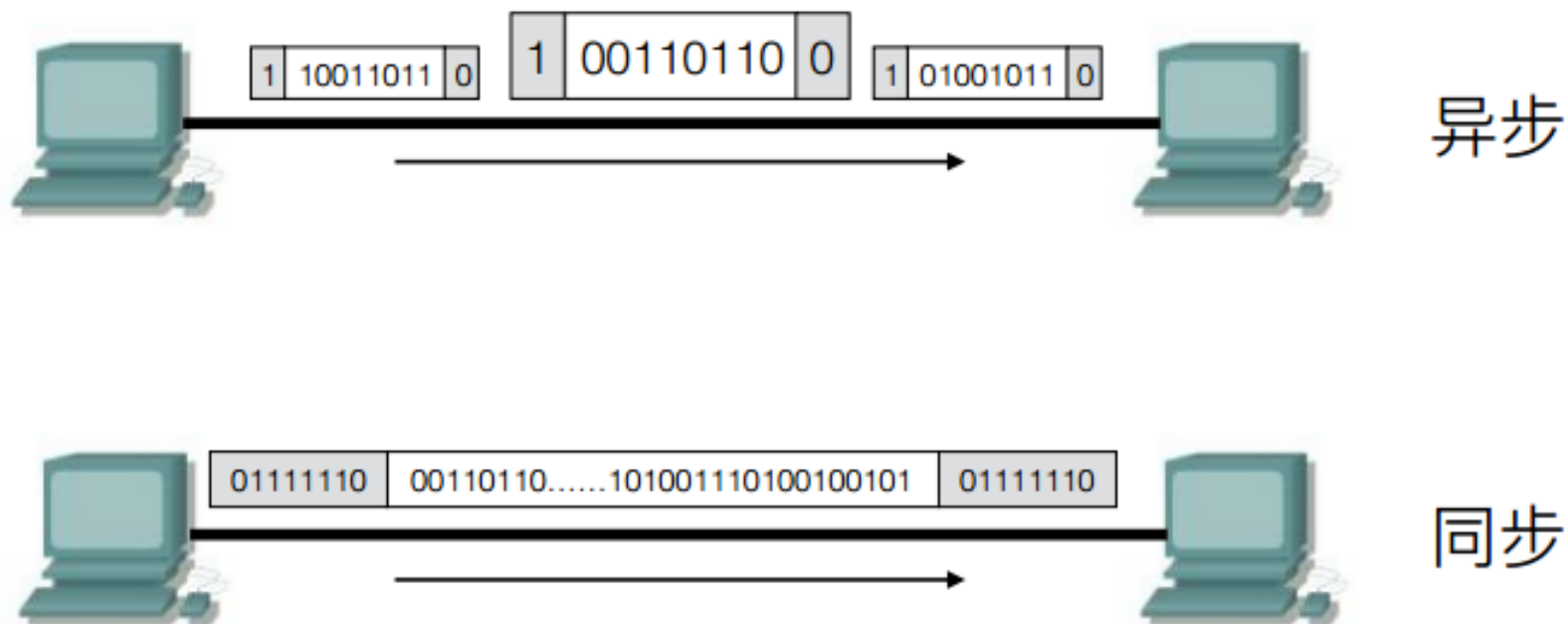
1.1.4 通信方式

(2) 串行通信和并行通信



1.1.4 通信方式

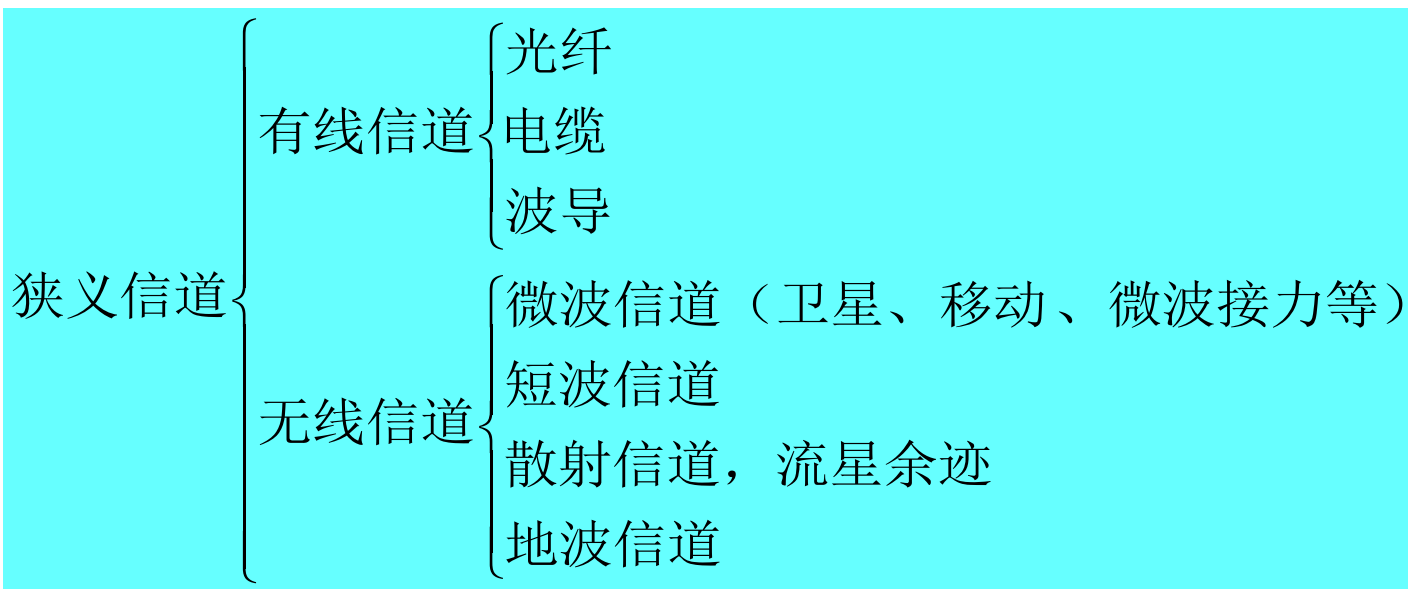
(3) 异步通信和同步通信



1.2 通信信道

1.2.1 信道的类型

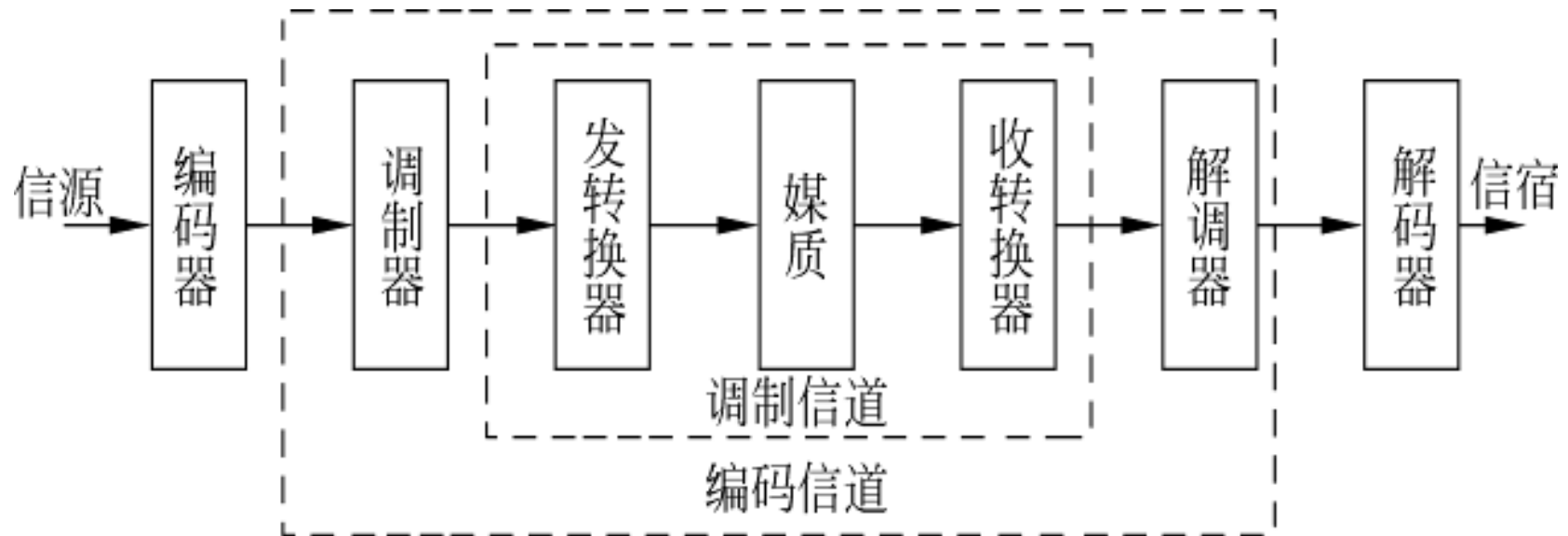
以传输媒质为基础的信号通路，即**信号的传输通道**，有狭义和广义之分。狭义的信道就是指信号的传输媒质；广义的信道还包括相关的变换装置，如发送设备、接收设备、天馈设备、调制解调器等。



1.2 通信信道

1.2.1 信道的类型

- 调制信道：是指调制器输出端到解调器输入端的部分，是**频带传输通道**；
- 编码信道：是指编码器输出端到译码器输入端的部分，是**基带波形传输通道**。



1.2 通信信道

1.2.2 信道噪声

★ 噪声的定义

- 在信道中，所有非传输信号的电信号都可称为**噪声**。

如果噪声干扰不去除，就会造成**信号失真**，严重的会使得通信无法正确和有效的进行。

★ 常见的随机噪声

- 单频噪声。它主要指无线电干扰。
- 脉冲干扰。它包括工业干扰中的电火花，断续电流以及天电干扰中的雷电等。
- 起伏噪声。它主要指信道内部的热噪声和器件噪声以及来自空间的宇宙噪声。

1.2.2 信道噪声

★ 起伏噪声的基本性质

■ 热噪声

热噪声是由电阻类导体中自由电子的布朗运动引起的噪声

■ 散弹噪声

散弹噪声是由真空电子管和半导体器件中电子发射的不均匀性所引起的

■ 宇宙噪声

宇宙噪声是天体辐射波对接收机形成的噪声

1.2.3 信道容量

由香农（**Shannon**）公式可计算出连续信道的信道容量（信道中信息传输速率的极限）：

$$C = B \log_2(1 + S / N) \quad (bit / s)$$

C为信道的极限信息传输速率，单位**bit/s**；**B**为信道的带宽；**S**为信道内所传信号的平均功率；**N**为信道内部的高斯噪声功率。

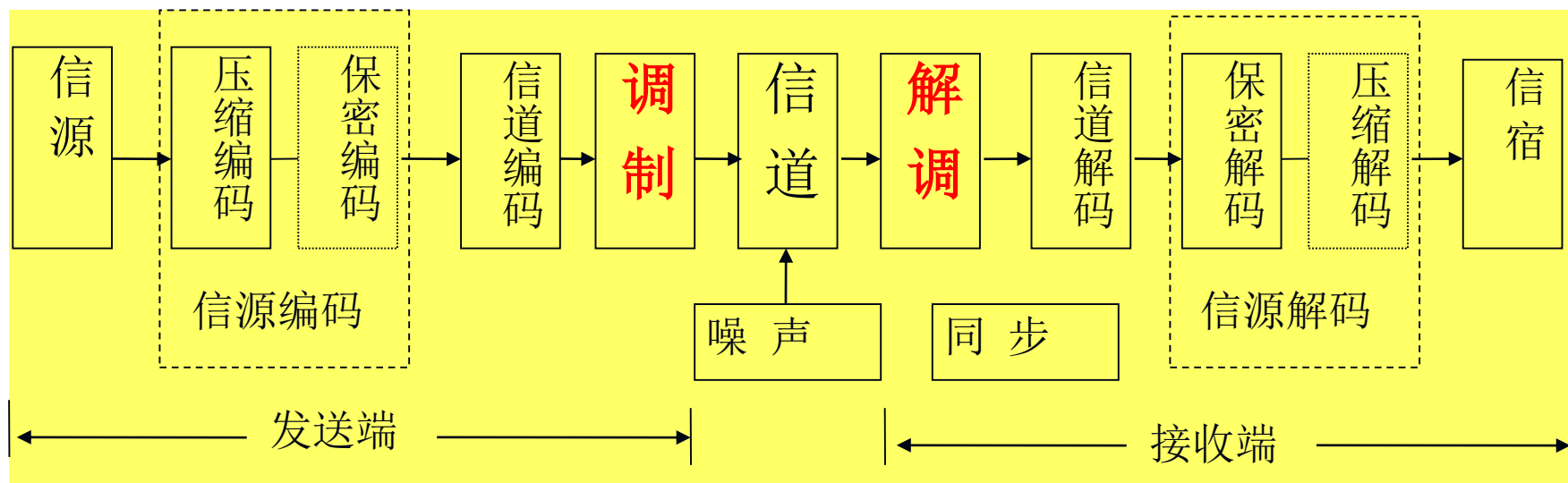
（1）对于一定的传输带宽（以赫兹为单位）和一定的信噪比，信息传输速率的上限就确定了。

（2）信道的带宽或信道中的信噪比越大，则信息的极限传输速率就越高。要想提高信息的传输速率，或者必须设法提高传输线路的带宽，或者必须设法提高所传信号的信噪比，此外没有其他任何办法。

1.3 调制解调原理

1.3.1 什么是调制解调？

要想实现信息传输的目的，就必须**在发送端将要发送的信息转换为适合信道传输的形式**。调制的一个重要作用就是对信号实施这种变换。解调则是调制的反过程。



基带信号和频带信号

★ 基带信号（调制信号）：

具有较低的频率分量，不宜在许多信道中直接传输，位于调制前、解调后的信号。

★ 频带信号（已调信号）：

调制后得到的信号，位于调制后、解调前的信号。



1.3.2 调制的功能

调制在通信系统中的具体功能介绍如下：

（一）信号与信道的匹配 通过调制可以将不适合信道传输的信号，转化为适合信道传输的信号，从而达到信号和信道匹配，实现通信的目的。

（二）频率变换 调制的实质就是实现**频谱的搬移**，即将基带信号的频谱搬移到所需的频谱上，实现频率变换，达到有效辐射。

例如，采用无线传送方式的语音通信，为了充分发挥天线的辐射能力，一般要求天线的尺寸和发送信号的波长相匹配，即**天线的长度应为所发射语音信号波长的 $1/4$ 之上**。

例如，把有效带宽为 $0.3\sim 3.4\text{kHz}$ 的语音信号直接通过天线进行发射，则天线的长度应为

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 3.4 \times 10^3} \approx 25km$$

很显然长为25千米的天线是不可能的，根本无法实现。但是如果把语音信号进行适当的**频谱搬移**，比如把其频率搬移到1000kHz频率处，按上式计算可知天线的长度为L=75m，显然这样的天线是可以实现的。

(三) 频率分配

我们知道无线广播电台的频段为550~1600kHz,为了**保证**各个无线广播电台发射的**信号互不干扰**，**必须给每个电台分配不同的发射频率**，为此无线电管理委员会就要严格分配电台的发射频率。利用调制技术每个电台就把各自的**各种话音、音乐、图像等基带信号**调制到自己所分配的发射频率上，以便用户任意选择各个电台，收看收听所需节目。

(四) 多路复用

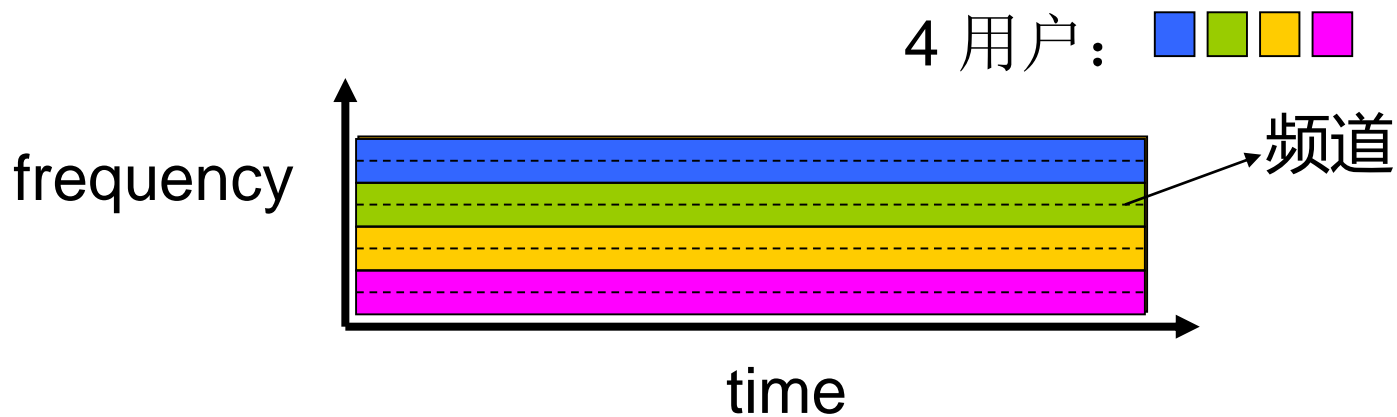
为了合理利用传输信道，提高通信效率，常采用复用技术。

将多路信号按调制技术搬移到不同的载频上去，并在频率范围内依次排列，然后在传输信道中同时传输，这种在频率范围内实现的复用，称之为频分复用(FDM)。

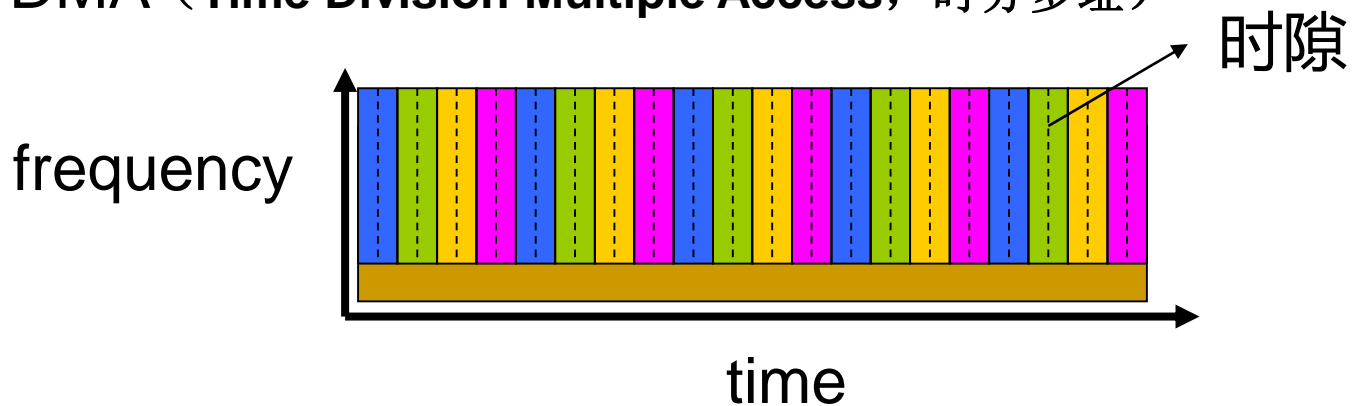
将多路信号通过不同的时间采样，然后在依次互不干扰地在同一传输信道中传输，这种在时间范围内实现的复用，称之为时分复用(TDM)。

FDM与TDM的比较

FDMA (Frequency Division Multiple Access, 频分多址)



TDMA (Time Division Multiple Access, 时分多址)



（五）提高抗干扰能力

抗干扰性也即为**可靠性**，而可靠性和有效性是互相制约的，通信中噪声和干扰时随时随地存在的，在干扰比较严重的情况下，**往往通过牺牲有效性来提高抗干扰性从而实现正常的通信质量**，这种技术可以通过不同的调制和解调方式来实现。如采用**FM**调制方式取代**AM**调制方式，提高系统抗噪性能。

（六）克服设备的缺陷

在很多现有条件的限制下，通过不同的调制方式可以实现正常的通信的进行。例如，没有合适长度的天线，通过调制可以达到用现有长度天线发射信号。

1.3 调制解调原理

1.3.3 调制解调的分类

调制的种类很多，分类方法也不一致。

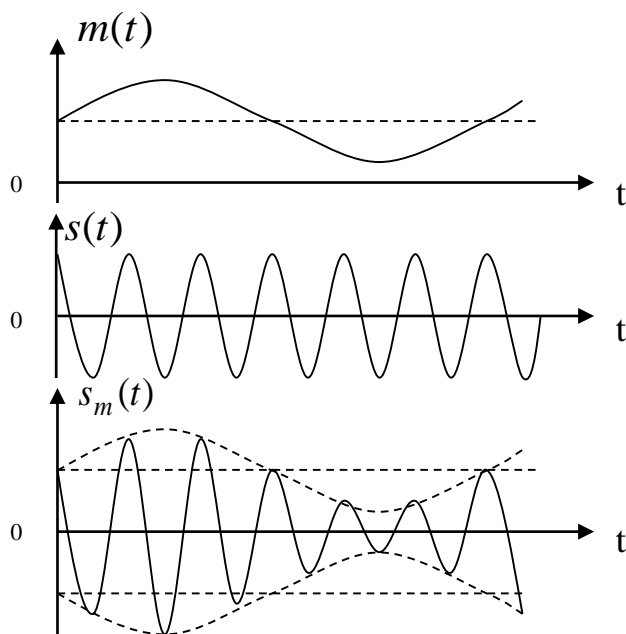
★ 按调制信号的形式可分为**模拟调制**和**数字调制**。用模拟信号调制称为模拟调制；用数据或数字信号调制称为数字调制。

★ 按被调信号的种类可分为**脉冲调制**、**正弦波调制**和**强度调制**(如对非相干光调制)等。调制的载波分别是脉冲，正弦波和光波等。**正弦波调制**有幅度调制、频率调制和相位调制三种基本方式，后两者合称为**角度调制**。

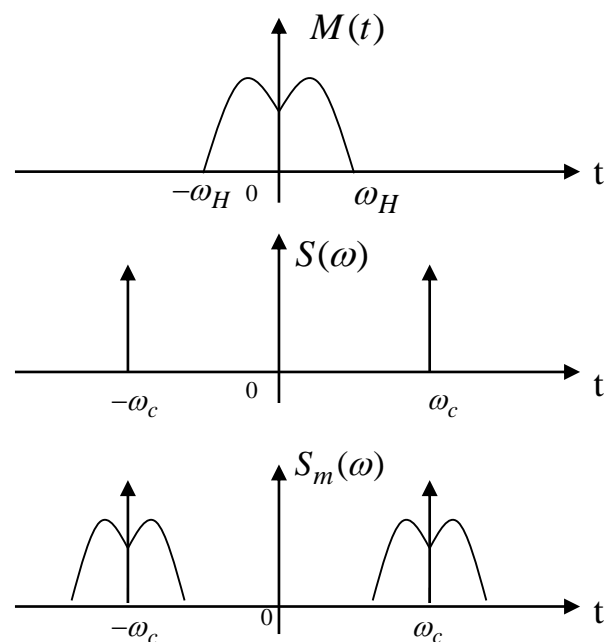
调制方式			通信系统
连续波调制	线性调制	常规双边带调幅AM	广播
		抑制载波双边带调幅DSB	立体声广播
		单边带调幅SSB	电台、载波通信、数传
		残留边带调幅VSB	电视、传真、数传
	非线性调制	调频FM	数字微波、卫星、广播
		调相PM	中间调制方式
	数字调制	幅移键控ASK	数据传输
		频移键控FSK	数据传输
		相移键控PSK、DPSK等	数据传输、数字微波、卫星
		其它高效数字调制QAM、MSK	数字微波、卫星
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制PDM (PWM)	中间调制方式
		脉位调制PPM	光纤通信、遥测
	脉冲数字调制	脉冲编码调制PCM	市话、卫星、空间通信
		增量调制 ΔM (DM)	军用、民用数字电话
		差分脉冲编码调制DPCM	电视电话、图像编码
		其它语音编码方式ADPCM、APC、LPC等	中、低速数字电话

(一) 幅度调制

幅度调制又叫调幅（AM: Amplitude Modulation），指的是用调制信号去控制载波的振幅，使已调制的信号包络按照调制信号的规律线性变换的过程。



(a) 常规调幅波形

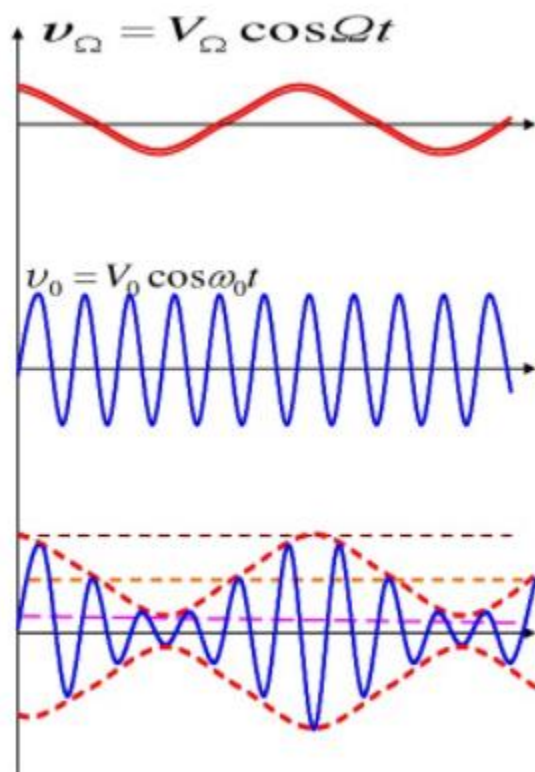


(b) 常规调幅信号频谱

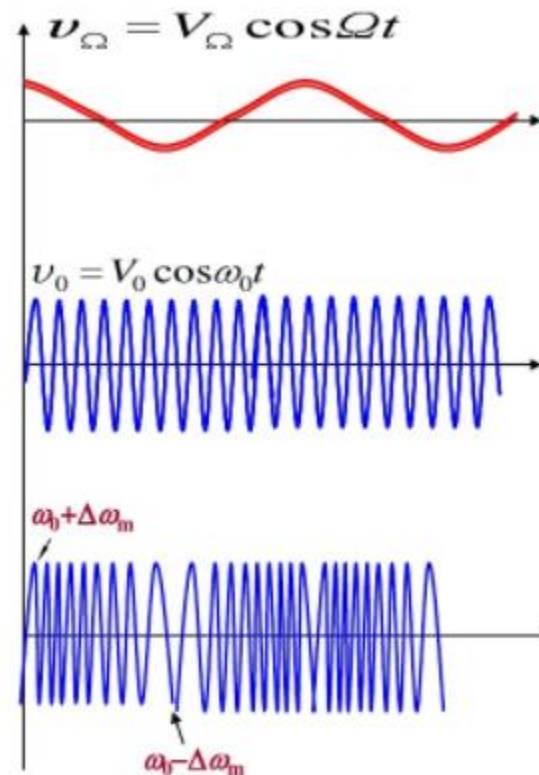
常规调幅波形及频谱

(二) 频率调制

频率调制又叫调频（FM: Frequency Modulation），指的是用调制信号去控制载波的频率，使载波的瞬时频率按照所需传递信号的变化规律而变化的调制方法



AM



FM

(三) 相位调制

相位调制又叫调相（PM: Phase Modulation），指的是用调制信号去控制载波的相位，使载波的相位对其参考相位的偏离值随调制信号的瞬时值成比例变化。

假定要发送的信号（称为调制信号）为 $m(t)$ ，信号调制的载波为

$$c(t) = A_c \sin(\omega_c t + \phi_c).$$

注释：载波(时间) = (载波幅度)* \sin (载波频率*时间+相移)

这使得已调信号为 $y(t) = A_c \sin(\omega_c t + m(t) + \phi_c).$

(四) 数字调制

数字调制是现代通信的重要方法，它与模拟调制相比有许多优点。数字调制具有更好的抗干扰性能，更强的抗信道损耗，以及更好的安全性；数字传输系统中可以使用差错控制技术，支持复杂信号条件和处理技术，如信源编码、加密技术以及均衡等。

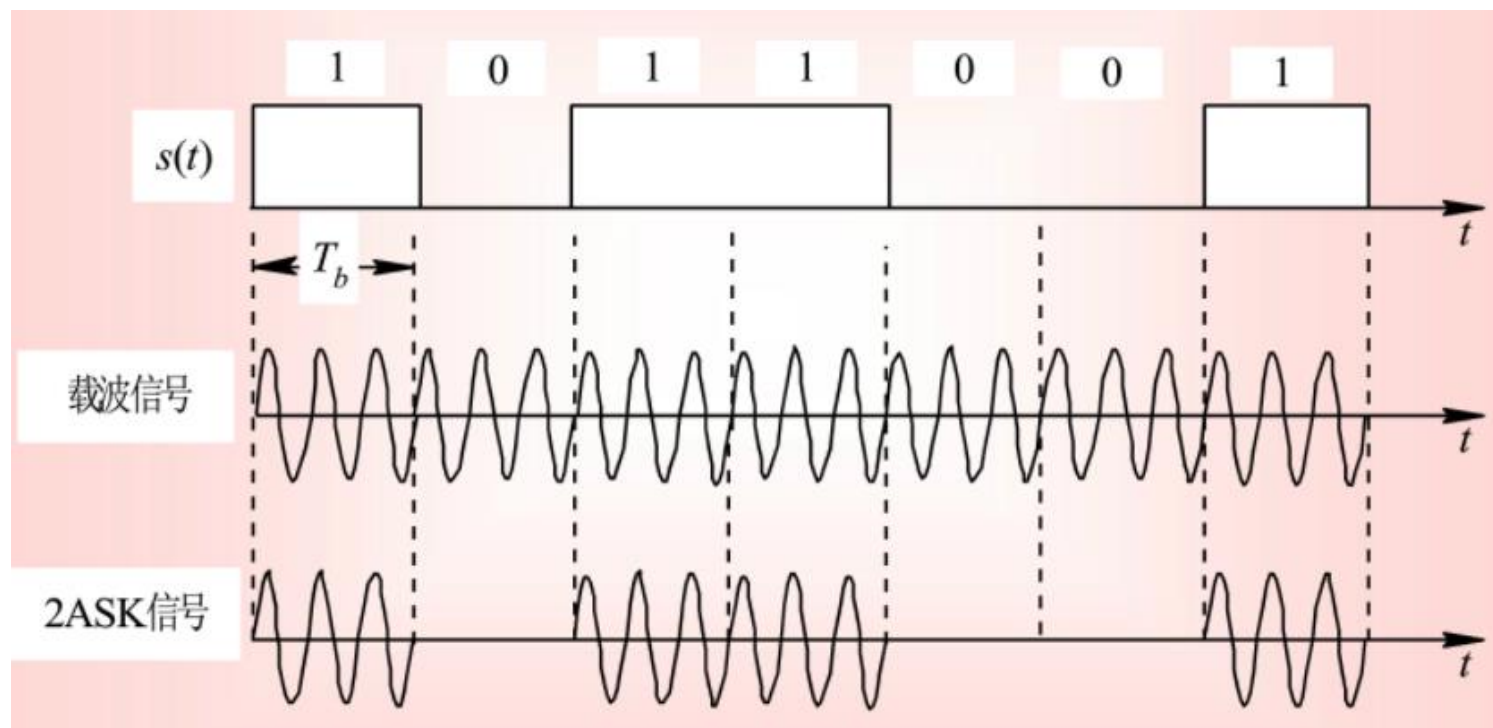
常见的数字调制方法有：

ASK（幅度键控调制）：把二进制符号0和1分别用不同的幅度来表示。

FSK（频移键控调制）：即用不同的频率来表示不同的符号。如2KHz表示0，3KHz表示1。

PSK（相移键控调制）：通过二进制符号0和1来判断信号前后相位。如1时用 π 相位，0时用0相位。

ASK（幅度键控）：把二进制符号0和1分别用不同的幅度来表示。2ASK信号的时间波形随二进制基带信号 $s(t)$ 通断变化，所以又称为**通断键控信号**（OOK信号，On-Off Keying）。特点：实现简单，但容易受增益变化的影响，是一种低效的调制技术。

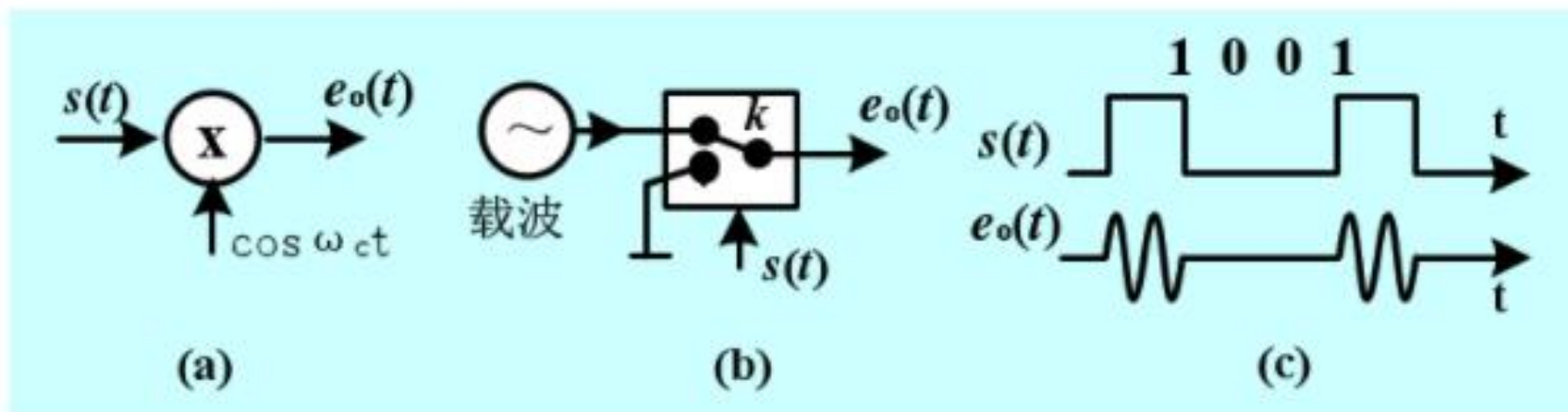


二进制振幅键控信号时间波形

2ASK信号的实现方式:

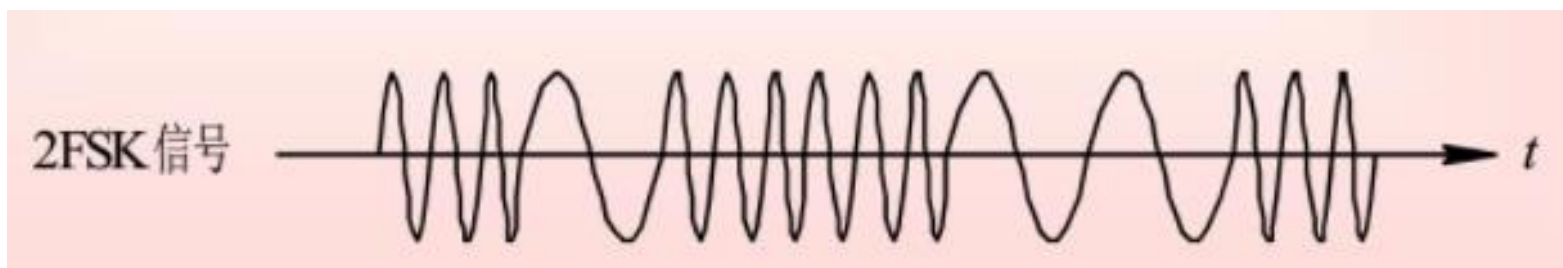
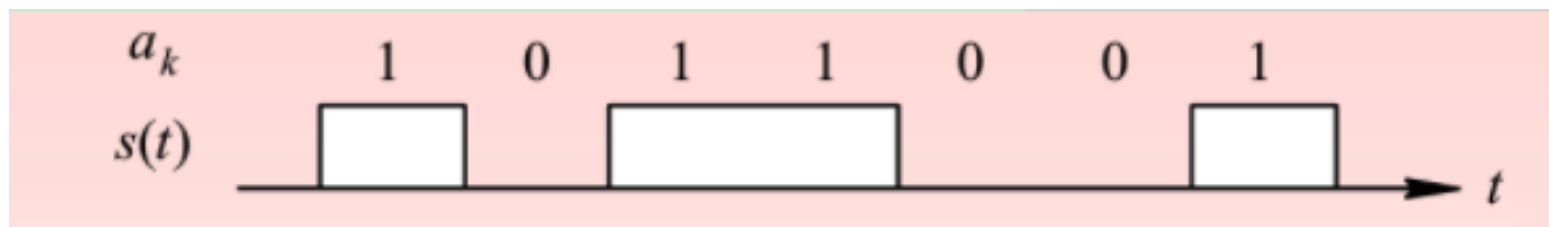
模拟法，如图（a）所示

键控法，如图（b）所示



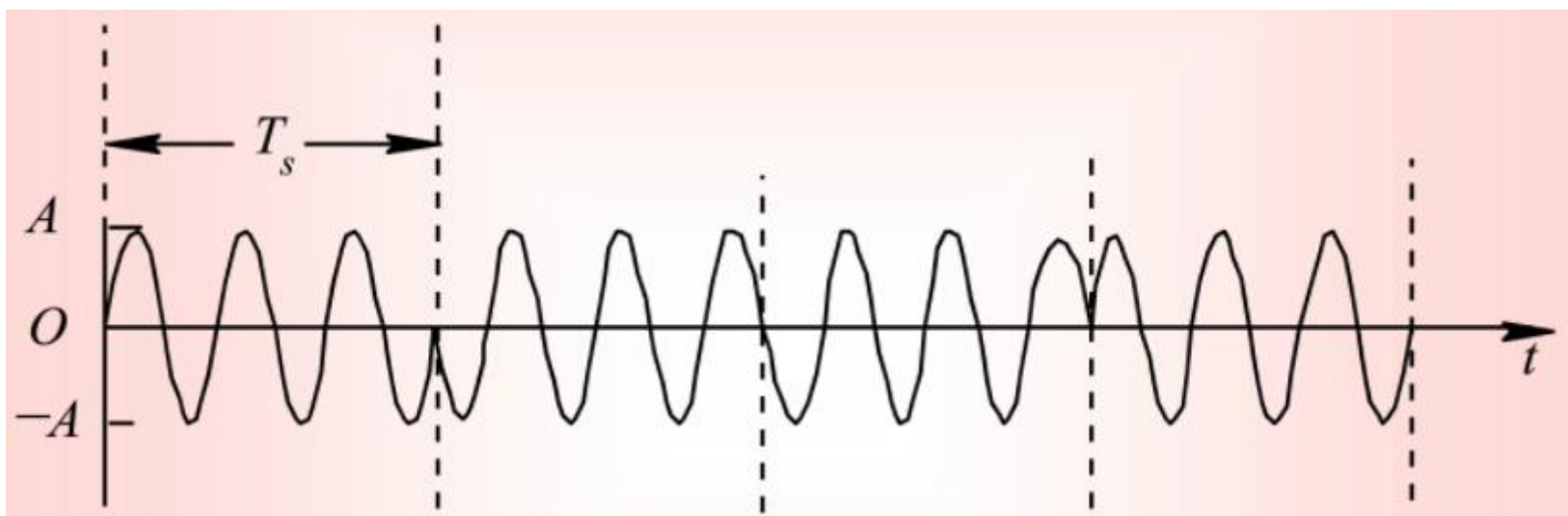
$$s(t) = \begin{cases} 1 & \text{(合上) : "1"} \\ 0 & \text{(合下) : "0"} \end{cases}$$

FSK（频移键控）：按数字数据的值（0或1）调制载波的频率。例如对应二进制0的载波频率为 f_1 ，而对应二进制1的载波频率为 f_2 。FSK抗干扰性能好，但占用带宽较大。在电话线路上，使用FSK可以实现全双工操作，通常可达到1200bps的速率。



二进制频移键控信号时间波形

PSK（相移键控）：按数字数据的值调制**载波相位**。例如用180相移表示1，用0相移表示0。这种调制技术抗干扰性能最好，且相位的变化也可以作为定时信息来同步发送机和接收机的时钟，并对传输速率起到加倍的作用。



二进制相移键控信号时间波形

1.4 信号的频域分析

1.4.1 傅里叶变换

傅立叶变换是一种分析信号的方法，可以用来将时域信号变换到频域，以更好地分析信号特性。

$f(t)$ 的傅里叶变换

$$F(\omega) = F[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

$F(\omega)$ 的傅里叶反变换

$$f(t) = F^{-1}[F(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega$$

记作

$$f(t) \Leftrightarrow F(\omega)$$

★ 傅里叶变换的意义

提供了信号在频率域和时间域之间的相互变换关系。通常把 $F(\omega)$ 称为 $f(t)$ 的频谱密度，简称频谱。

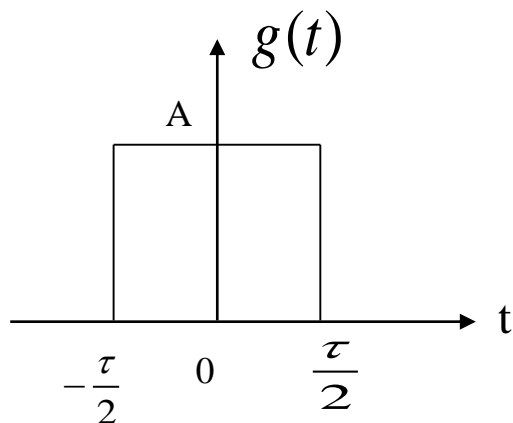
★ 门函数的频谱

- 门函数的时域表达式

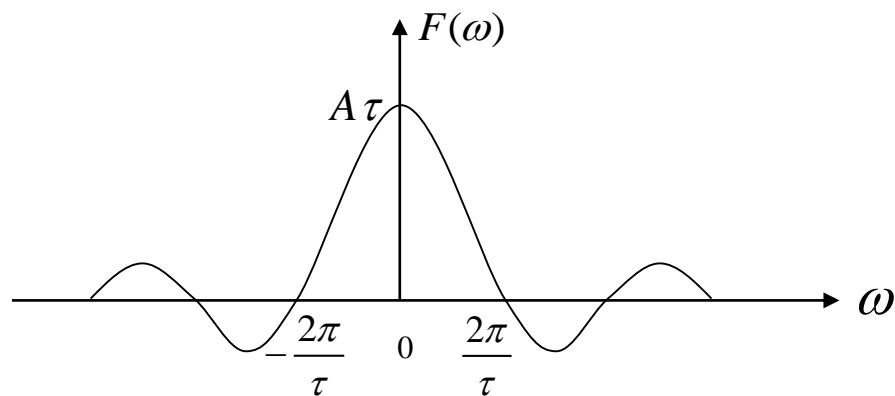
$$g(t) = \begin{cases} A, & |t| \leq \tau/2 \\ 0, & |t| > \tau/2 \end{cases}$$

- 门函数的傅里叶变换 $F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)e^{-j\omega t} dt = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} Ae^{-j\omega t} dt$

$$= A\tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \quad \text{其中, } \text{Sa}(x) = \frac{\sin x}{x}$$



(a) 门函数



(b) 门函数的频谱

第二节 无线通信与天线基础

§ 2.1 无线通信基本概念

§ 2.2 无线通信频谱

§ 2.3 无线通信传播

§ 2.4 天线基础

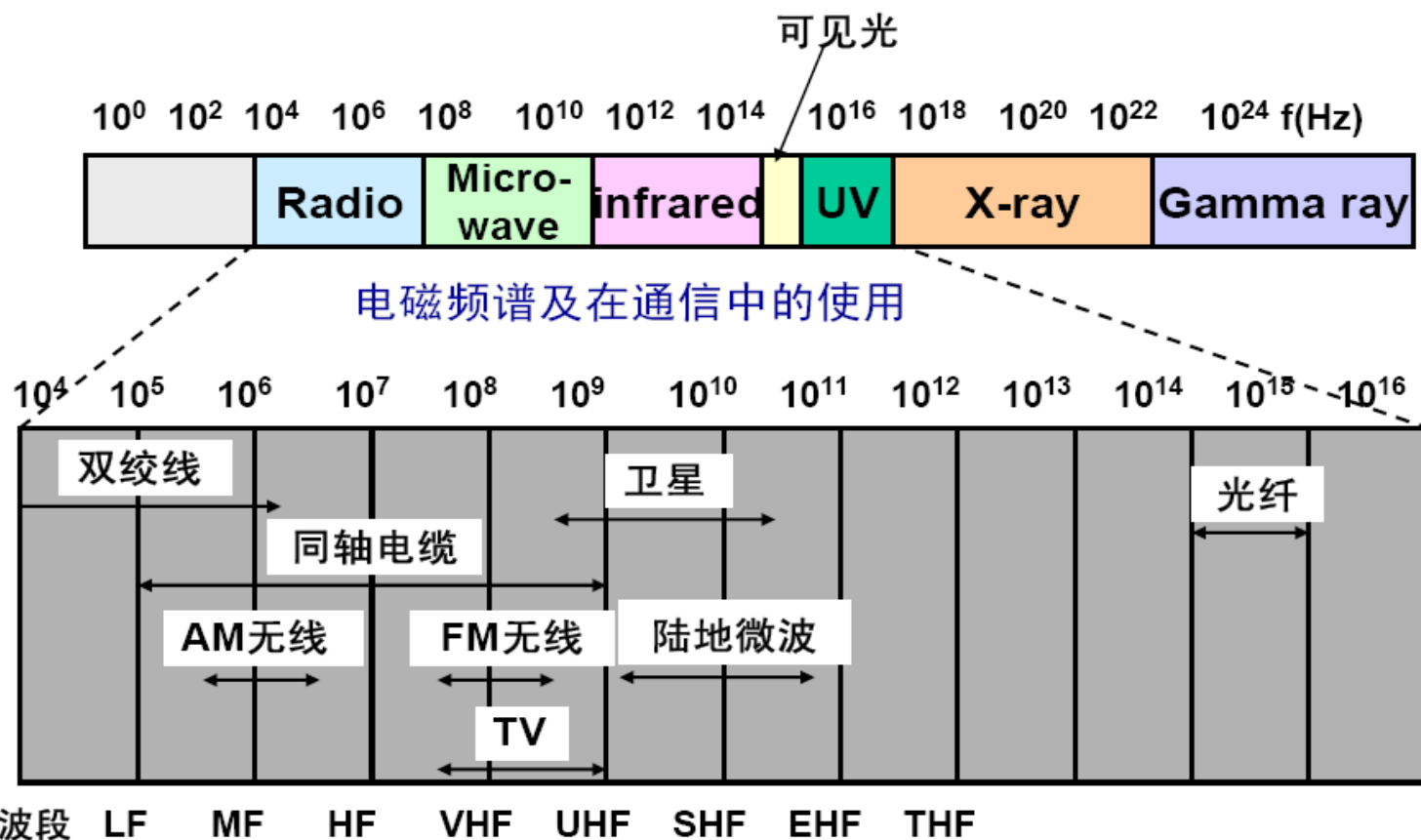
2.1 无线通信基本概念

无线通信：利用电磁波的辐射和传播，经过空间传送信息的通信方式称之为无线电通信，也称为无线通信。它包括zigbee、蓝牙、红外线、卫星、微波、Wimax等无线方式的通信。

- 利用无线通信可以传送电报、电话、传真、数据、图像以及广播和电视节目等通信业务。
- 移动通信是移动中的无线通信。
- 无线通信主要包括微波通信、卫星通信、移动通信等。

2.2 无线通信频谱

通常无线电波所指的是从**极低频10KHz**到**极超高频30GHz**（Giga Hertz），因为超出这个范围以外的无线电频谱，其特性便有很大不同了。例如光线、X射线等。



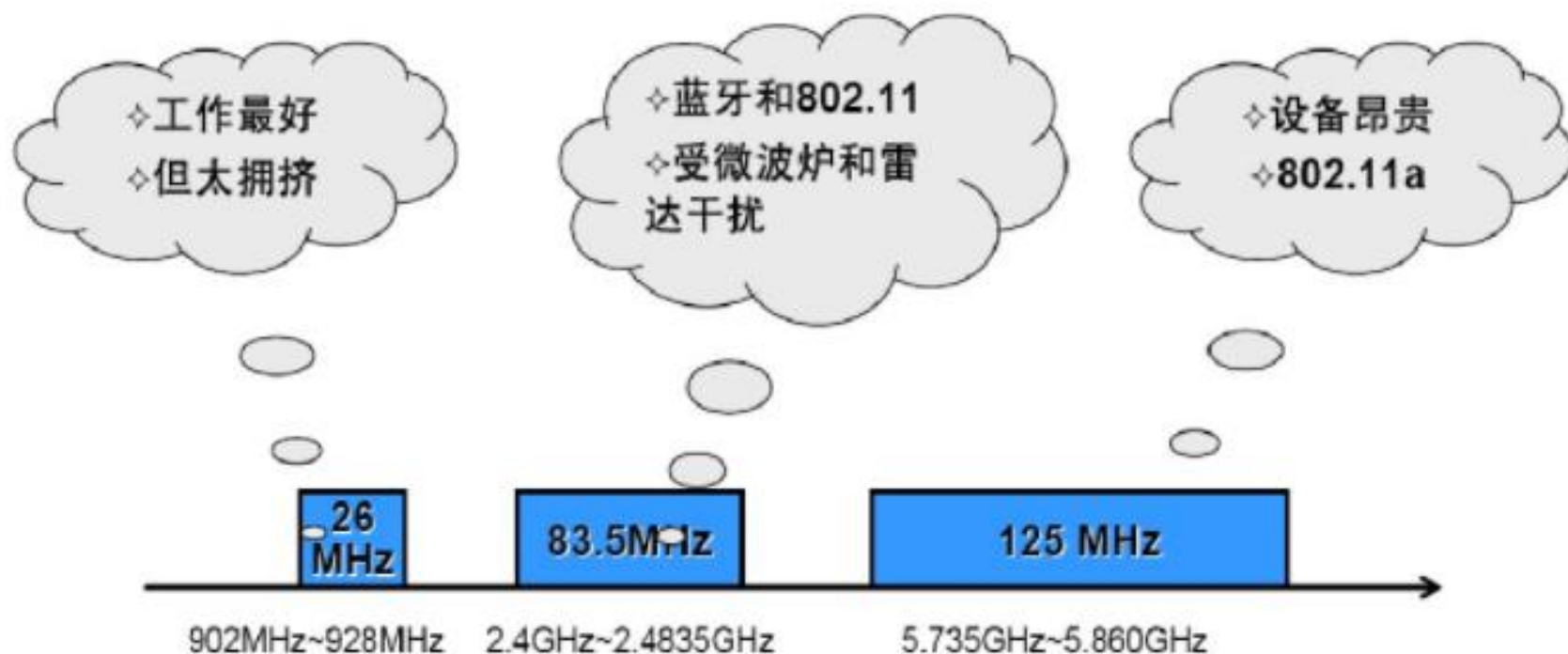
毫米波是指频率**30GHz~300GHz**(相当于**波长1mm~10mm**)的电磁波，称为“毫米波”。

2.2 无线通信频谱

- 频率统一分配（FCC/ITU_R/各个国家）
 - 根据信息类型分配频谱（AM/FM无线电台、TV、蜂窝电话...）
- 工业科学医学频段（ISM, Industrial Scientific Medical）
 - 可自由使用但限制功率
 - 专用于非许可的商业用途
 - 救护车、出租车、无线遥控玩具、无线电家用设备等

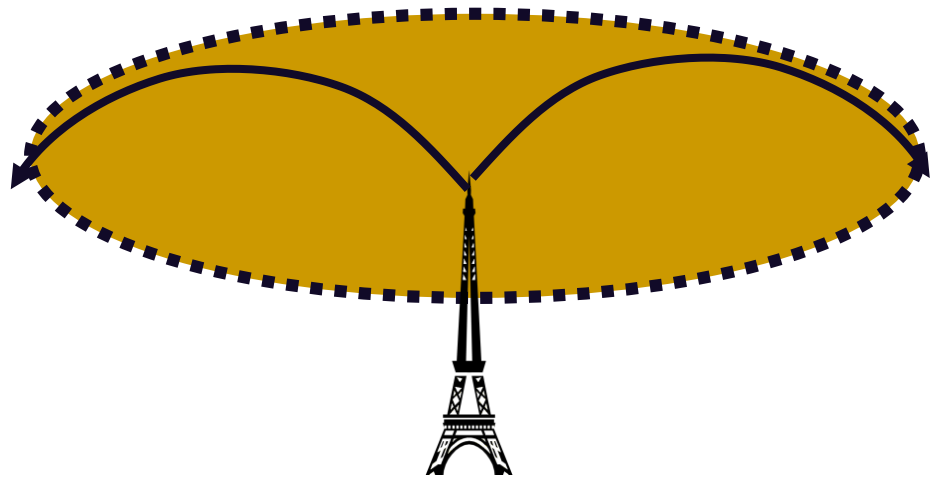
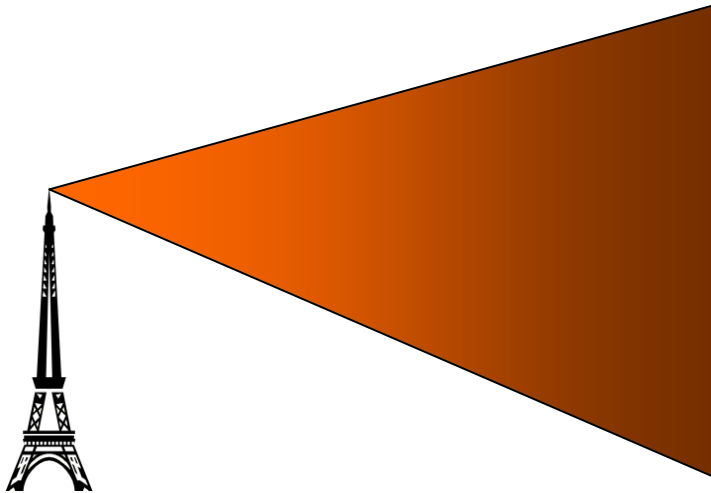
2.2 无线通信频谱

工业科学医学频段的范围



2.3 无线通信传播

可分为全向传播与定向传播



■ 定向传播（Directional）

- 天线把所有的能量集中于一小束电磁波

■ 全向传播（Omnidirectional）

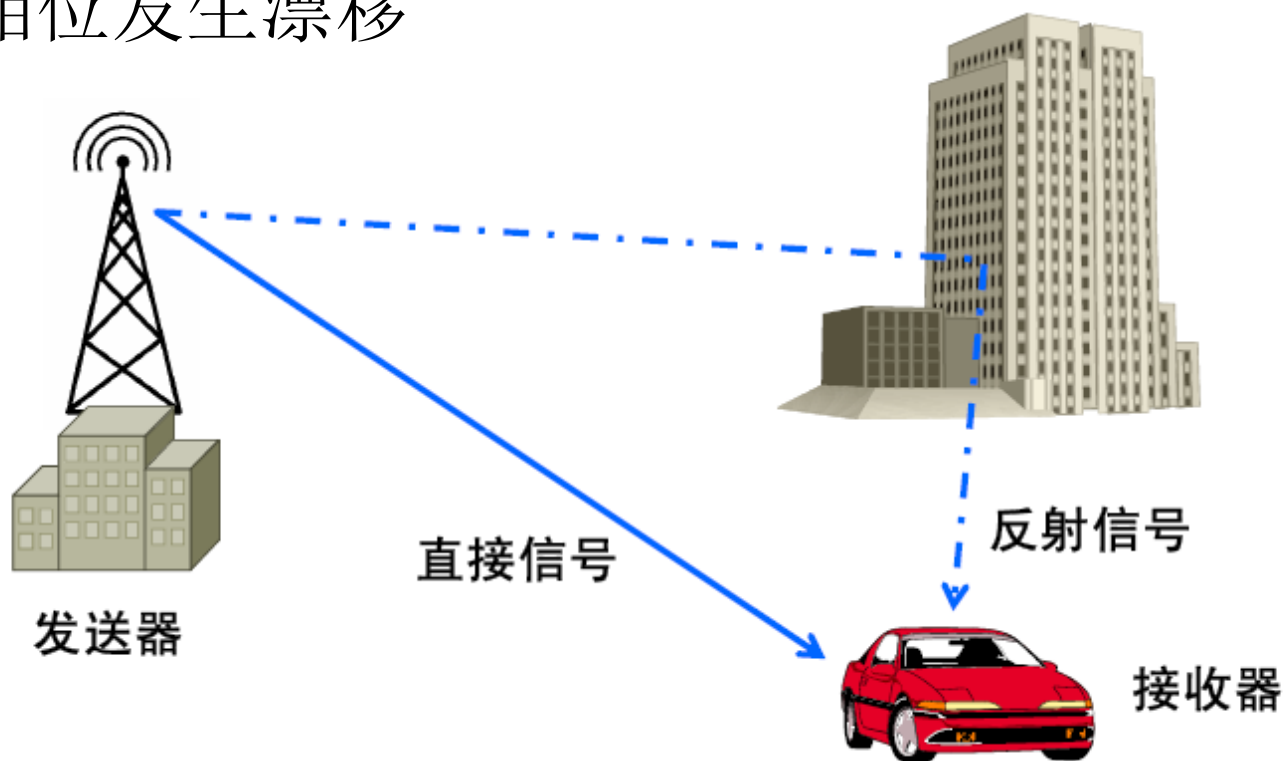
- 信号沿所有方向传播
- 可被所有的天线接收
- 发射设备和接收设备不必在物理上对准

2.3 无线通信传播

- 理想情况下，无线信号在从发射器到接收器间的一条直线上传播，称为“视线”（Line of Sight, **LOS**），这种传播叫**视距传播**。
- 实际情况下，由于传输障碍物等传输环境的影响，无线信号的传播将发生如下三种现象：**反射**、**衍射**和**散射**。其中物体的几何形状决定了将产生那种现象。

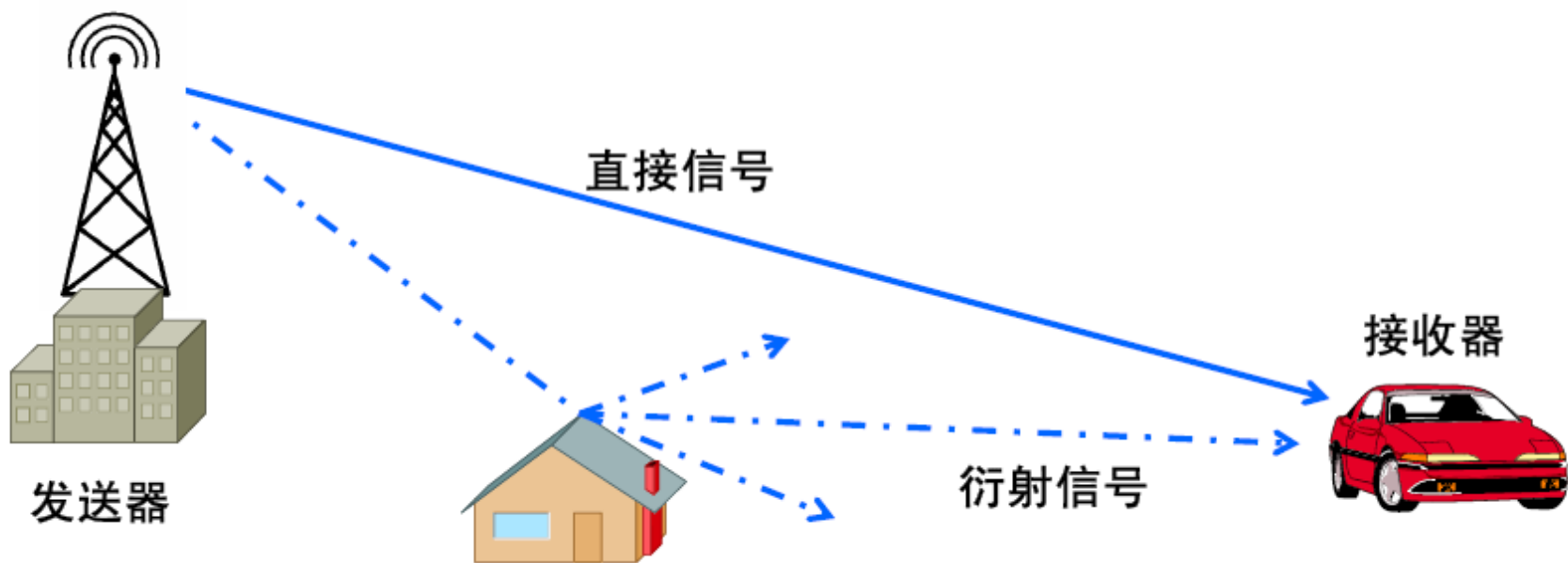
反射 (reflection)

- 反射：当信号遇到表面**大于信号波长的障碍物**（地球表面、高建筑物、大型墙面）导致信号的相位发生漂移



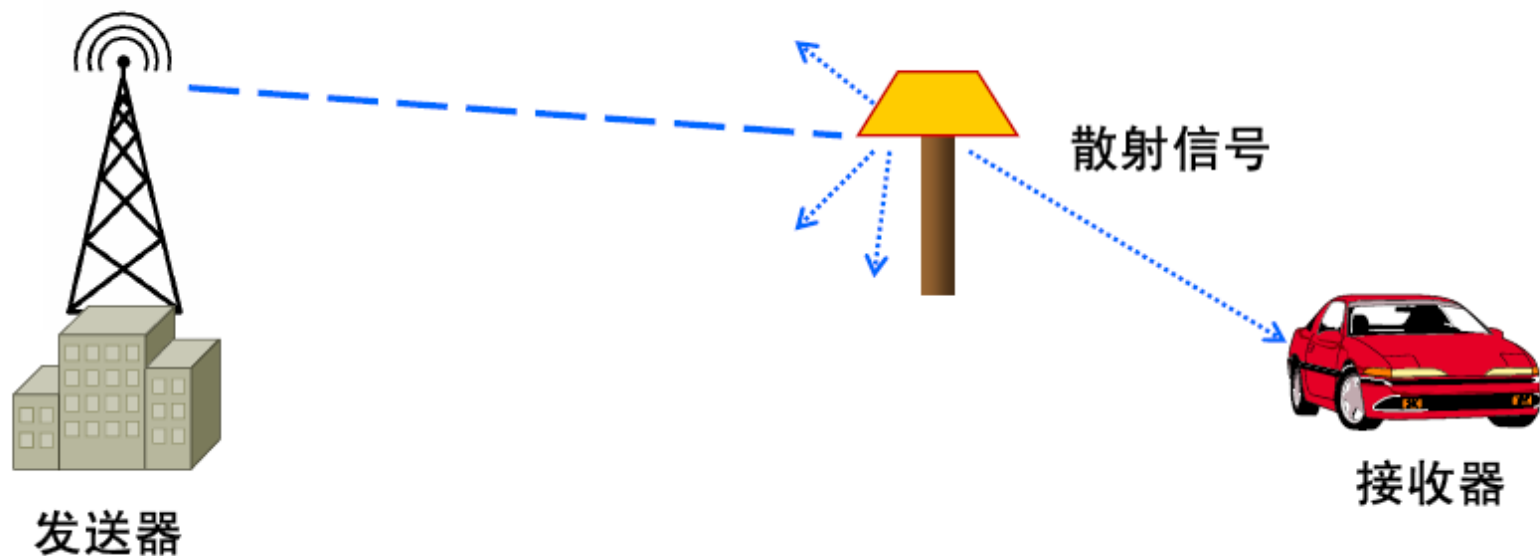
衍射 (Diffraction)

- 衍射（绕射）：在电磁波传播过程中遇到障碍物，这个障碍物的尺寸与电磁波的波长接近时，电磁波可以从该物体的边缘绕射过去。绕射可以帮助进行阴影区域的覆盖。



散射 (Scattering)

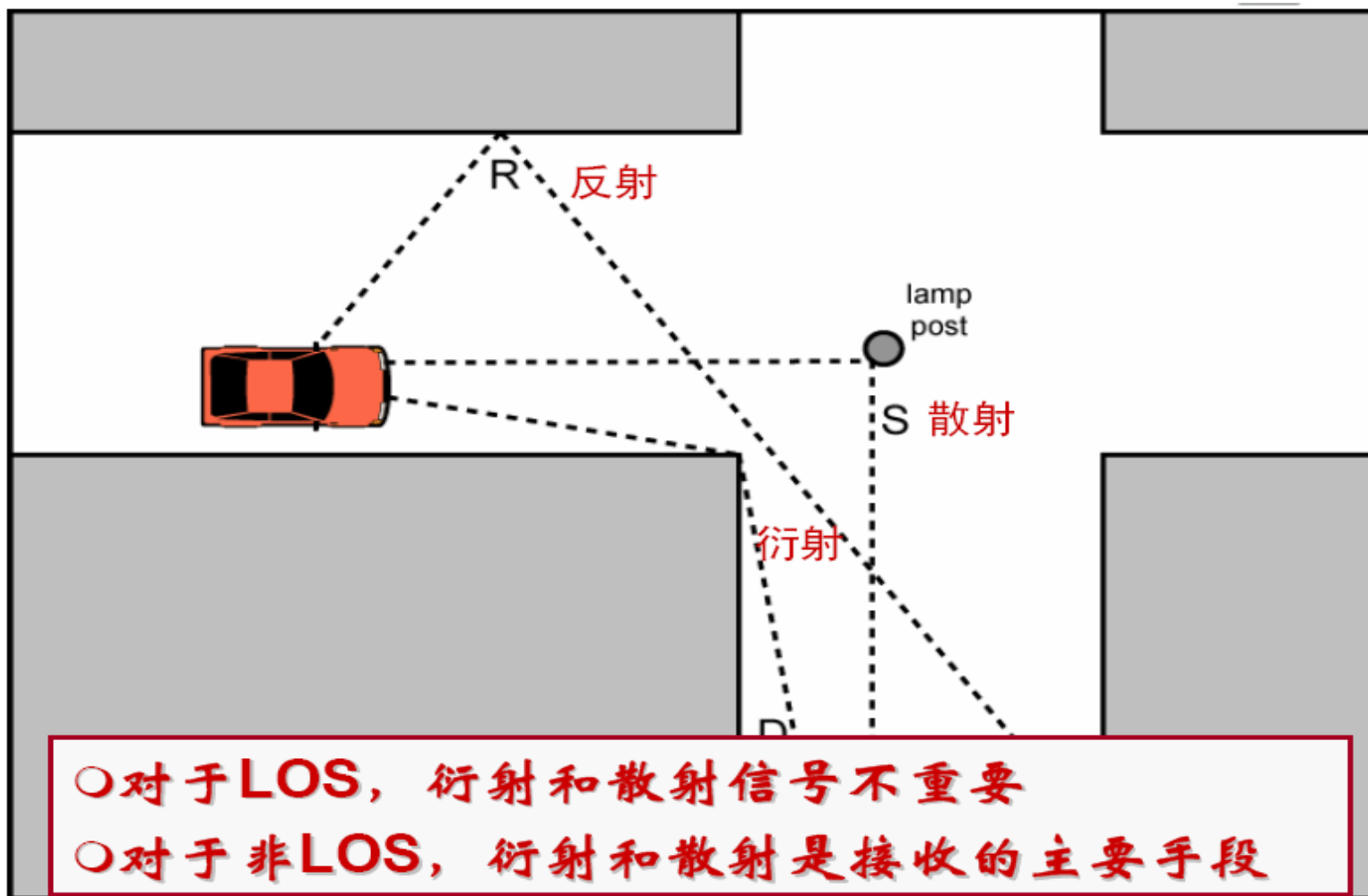
- 散射：当信号遇到比波长更小的物体（树叶、街牌、灯柱），并且单位体积内这些物体的数目较大时，会发生散射。



散射（Scattering）

- 散射还与障碍物表面的粗糙度有关。表面越粗糙，越容易引起散射。
- 例如，
 - 在户外，树木和路标都会导致移动电话信号的散射。
 - 在室内，椅子、书籍和计算机都会导致无线LAN信号的散射。

反射、衍射和散射



无线通信的衰减和衰落

■ 衰减（Fading）：传输介质或路径使得接收信号的能量发生变化。

□ 在固定环境下，大气层条件的变化

■ 低频具有更强的穿透力，可以传输更远的距离

■ 频率越高，衰减越严重，发射器需要更大的功率，传输范围变短

■ 衰落：电磁波在传播过程中，由于传播媒介及传播途径随时间的变化而引起的接收信号强弱变化的现象叫作衰落。

□ 多径效应是衰落的重要成因

多径（Multipath）传播的影响

多径（Multipath）：障碍物反射信号，使得**接收端接收到多个不同延迟的信号**

多径效应（Multipath Effect）：指电磁波经不同路径传播后，**各分量到达接收端时间不同**，按各自的相位相互叠加而造成干扰，使得原来的信号失真或产生错误。

- 一个信号的多个拷贝以不同的相位到达
 - 如果**相位破坏性叠加**，则相对噪声来说信号的强度就会下降（信噪比减小），导致接收端检测困难
- **信号串扰（Intersymbol Interference）**
 - 一个脉冲的一个或多个延迟的拷贝在一个比特时间内到达

多径传播的影响

- 假设：以给定频率在固定天线和移动节点之间的链路上发送窄脉冲

