



# 物联网通信技术

主讲人：宁磊

Email: [ninglei@sztu.edu.cn](mailto:ninglei@sztu.edu.cn)

# 目录

## CONTENTS

第1章. 物联网通信概述

第2章. 基带传输技术

第3章. 频带传输技术

第4章. 链路传输技术

第5章. 网络传输技术

第6章. 应用传输技术

第7章. 典型物联网通信系统

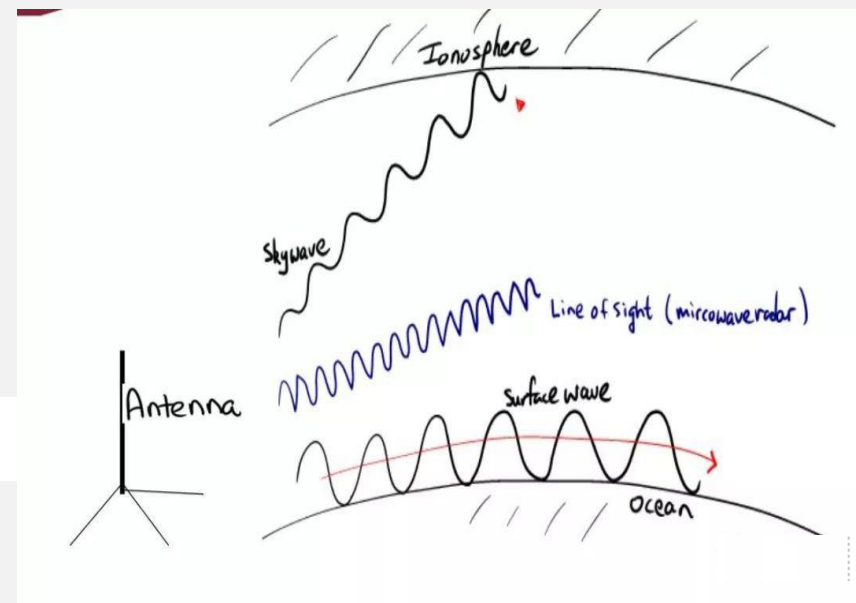
- 本章主要内容：无线信号与信道特性；常见数字调制方式的基本原理。
- 本章学习目标
  - 熟悉无线信号与信道特性
  - 掌握常见数字调制方式原理

- 无线电波分布在 3Hz ~ 3000GHz 的频率范围内。不同波段内的无线电波具有不同的传播特性
- 国际电联为不同的无线电传输技术和应用分配了无线电频谱的不同部分
- 制定的“无线电规则 (Radio Regulations, RR)”中定义了约 40 项无线电通信业务
- 传播方式

- 地波：沿着地球表面传播的电波
- 天波：靠大气层中的电离层反射传播的电波
- 空间直线波：在空间由发射地点向接收地点直线传播的电波

- 无线电波在自由空间的传播路径损耗  $L = 32.44 + 20\lg f + 20\lg d$

其中,  $L$  为路径损耗 (dB),  $d$  为距离 (km),  $f$  为频率 (MHz)



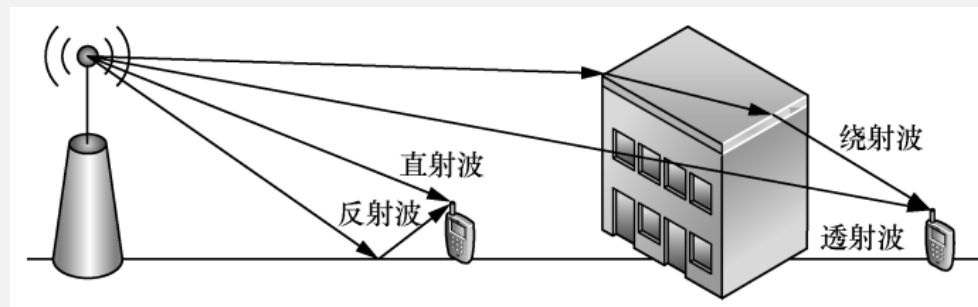
# 无线信道

名称	甚低频	低频	中频	高频	甚高频	超高频	特高频	极高频
符号	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF
频率	3-30KHz	30-300KHz	0.3-3MHz	3-30MHz	30-300MHz	0.3-3GHz	3-30GHz	30-300GHz
波段	超长波	长波	中波	短波	米波	分米波	厘米波	毫米波
波长	1Km-100Km	10Km-1Km	1Km-100m	100m-10m	10m-1m	1m-0.1m	10cm-1cm	10mm-1mm
传播特性	地波为主	地波为主	地波与天波	天波与地波	空间波	空间波	空间波	空间波
主要用途	海岸潜艇通信；远距离通信；超远距离导航	越洋通信；中距离通信；地下岩层通信；远距离导航	船用通信；业余无线电通信；移动通信；中距离导航	远距离短波通信；国际定点通信	电离层散射 (30-60MHz)；流星余迹通信；人造电离层通信 (30-144MHz)；对空间飞行器通信；移动通信	小容量微波中继通信；(352-420MHz)；对流层散射通信 (700-10000MHz)；中容量微波通信 (1700-2400MHz)	大容量微波中继通信 (3600-4200MHz)；大容量微波中继通信 (5850-3500MHz)；数字通信；卫星通信；国际海事卫星通信 (1500-1600MHz)	再入大气层时的通信；波导通信

- 无线传输特性

- 无线电波传输的 4 种方式

- ① 直射波
    - ② 反射波
    - ③ 绕射波
    - ④ 透射波



无线电波传输方式

- 大尺度传播模型

描述发射机与接收机之间长距离（几百或几千米）内信号强度的变化

- 小尺度传播模型

描述短距离（几个波长）或短时间（秒级）内接收信号强度的快速变化

- 无线传输特性

- 无线信道衰落因子

大尺度与小尺度两种模型并不是相互独立的，在同一个无线信道中，既存在大尺度衰减，也存在小尺度衰落。因此，实际的无线信道衰落因子 $\eta(t)$ 可表示为

$$\eta(t) = \xi(t) \times \zeta(t)$$

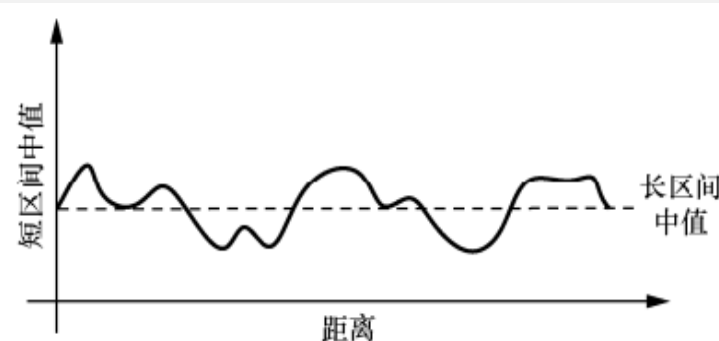
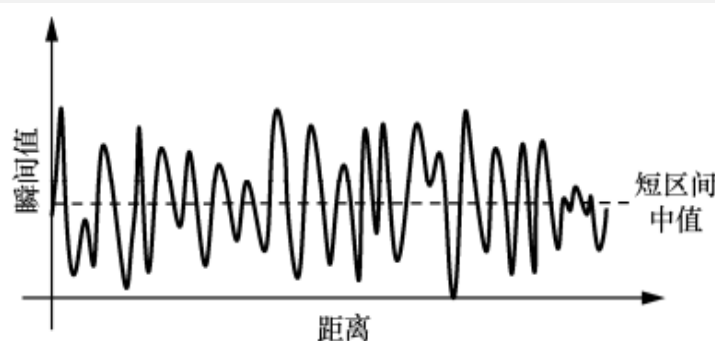
式中， $\xi(t)$ 表示小尺度衰落， $\zeta(t)$ 表示大尺度衰落

- 空间特性

- 快衰落：主要是多径衰落造成的，通常服从瑞利分布

- 慢衰落：主要是阴影衰落造成的，通常服从对数正态分布

快衰落



慢衰落

- 时间特性

- 多径效应

- 不同相位的多个信号在接收端叠加，有时同相叠加而加强，有时反相叠加而减弱
    - 造成接收信号的幅度急剧变化

- 空间角度：本地反射物所引起的多径效应呈现较快的幅度变化，其局部均值为随距离增加而起伏的曲线

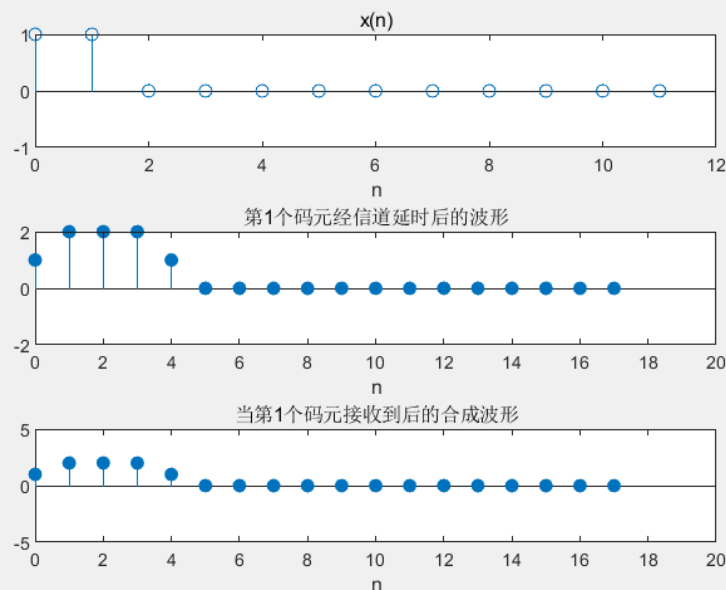
- 时间角度：各个路径的长度不同，因而信号到达时间也不同，引起接收信号中脉冲的宽度扩展，称为时延扩展，有可能造成**码间串扰**

- 为了避免码间串扰，应使**码元周期**大于多径引起的**时延扩展**



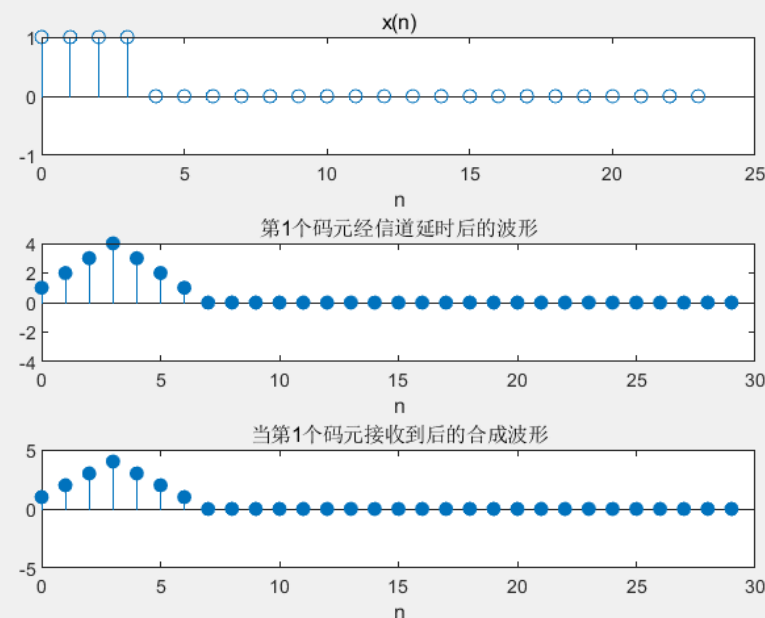
## ● 多径效应

发送比特 1 1 0 1 0 0



码间串扰信道传输示意图

发送比特 1 1 0 1 0 0



无码间串扰信道传输示意图

当**码元周期大于信道的时延扩展**时，虽然码元经过信道同样会有**拖尾时延**，但是其接收波形存在无码间串扰区间，可以实现正确解调

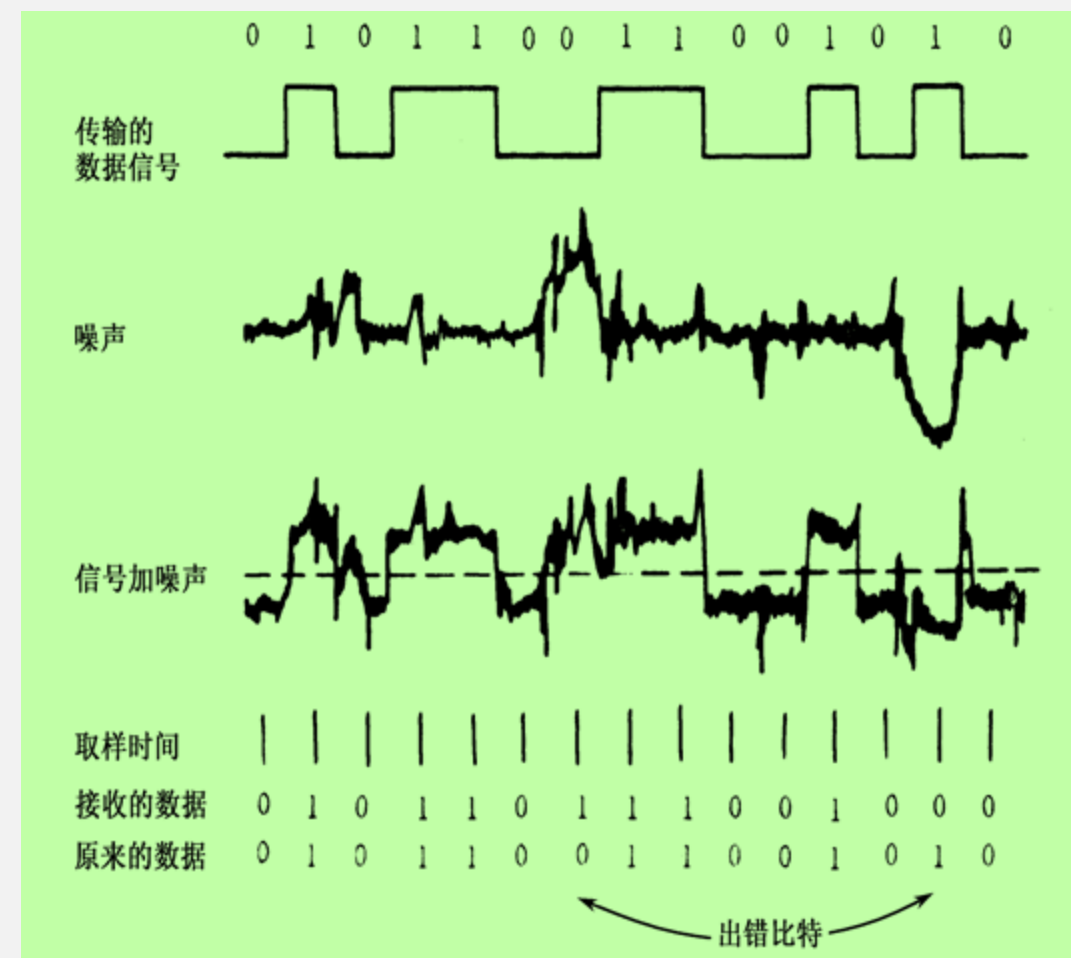
- 多普勒效应

- 移动台与基站之间的相对运动，或是信道路径中物体的运动，会引起多普勒频移
- 信道具备时变特性，也就是信道出现了时间选择性衰落
- 相关时间：信道冲激响应保证一定相关度的时间间隔。如果基带信号的带宽倒数大于信道相关时间，那么传输中基带信号受到的衰落就会发生变化，导致接收机解码失真

# 传输损伤

- 数据信号在数据通信系统的端到端连接的每个环节都可能受到伤害，ITU称之为传输损伤。并推荐用误码、抖动、漂移、滑动和时延来表示

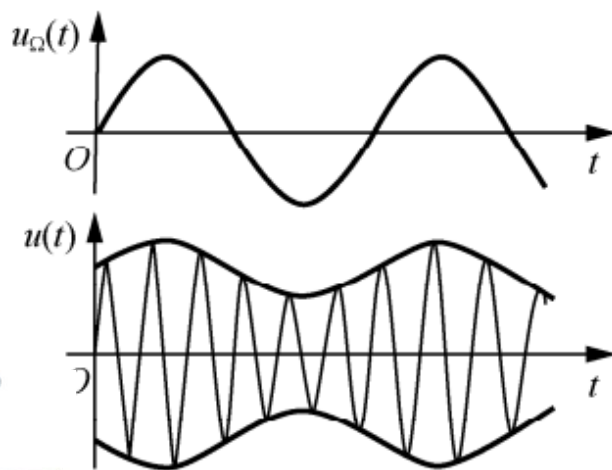
- 误码**(Error) 指信号在传输过程中码元发生的差错，即接收与发送数字信号的单个数字之间的差异
- 抖动**(Jitter) 指码元出现的时刻随时间频繁地变化，也就是各有效瞬间相对于理想时间位置的短时间偏移
- 漂移**(Wander) 指码元各有效瞬间相对于理想时间位置的长期缓慢偏移
- 滑动**(Slip) 指一个信号序列在传输过程中，不可恢复地丢失或增加若干码元
- 时延**(Delay) 指信号的各有效瞬间相对于理想时间位置的滞后或推迟



噪声对数据信号传输的影响

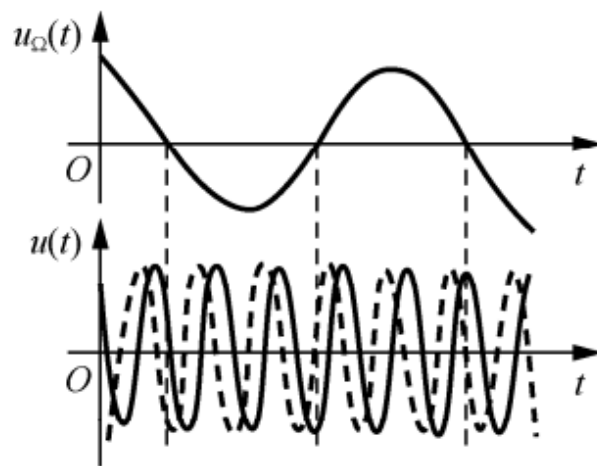
- 调制可分为幅度调制（调幅）、相位调制（调相）和频率调制（调频）

(a)调幅信号



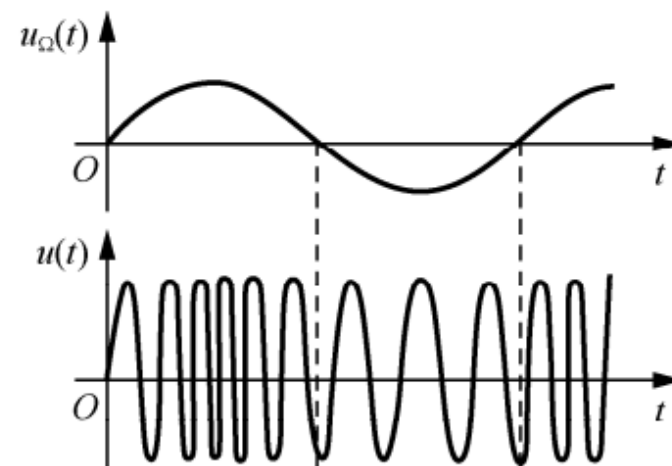
(a) 调幅

(b)调相信号



(b) 调相

(c)调频信号



(c) 调频



- 基带信号的问题：
  - 相当于低通信号，适合用一条不太长的电线来传输
  - 若所有用户都采用基带通信，那么任何时候只能有一个用户发送信号，否则会造成频带相互重叠
- 事实上信道带宽远远大于信号带宽，利用频带传输可以承载的通信数量会大大提升

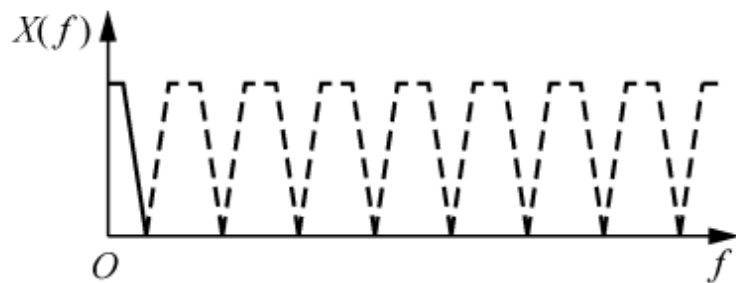


图 3-1 信号与信道单边频带

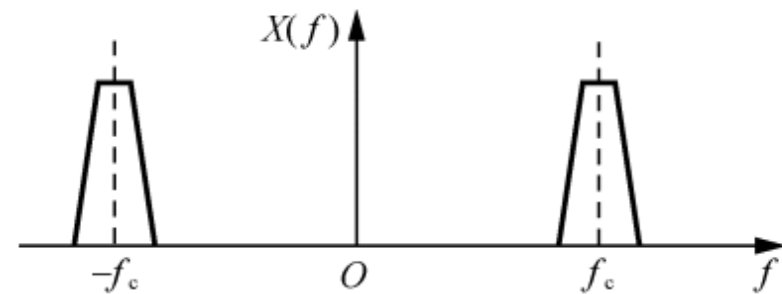
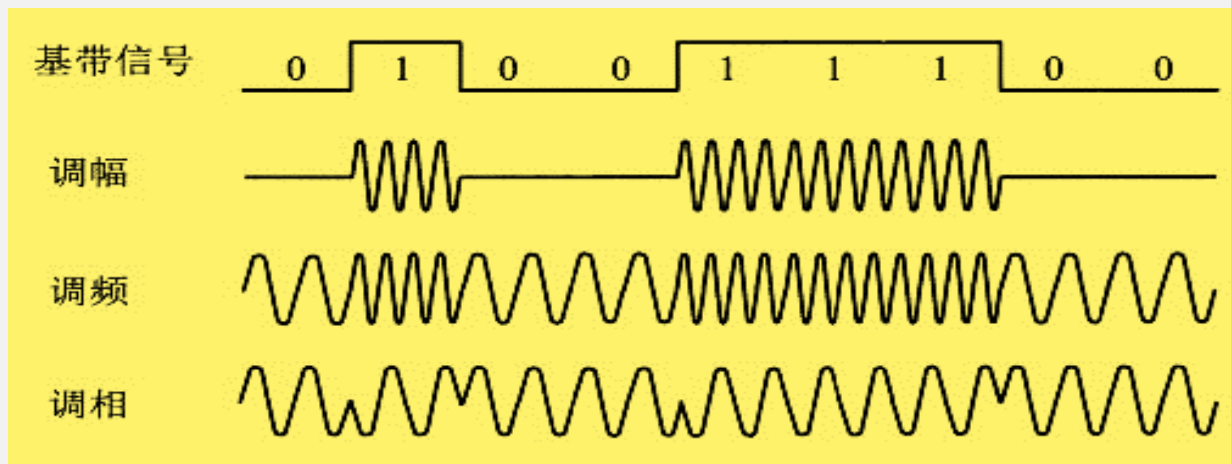
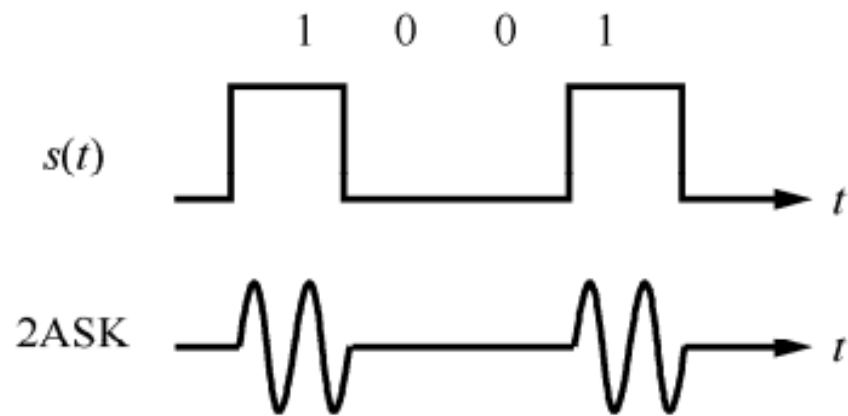


图 3-2 频带信号频谱

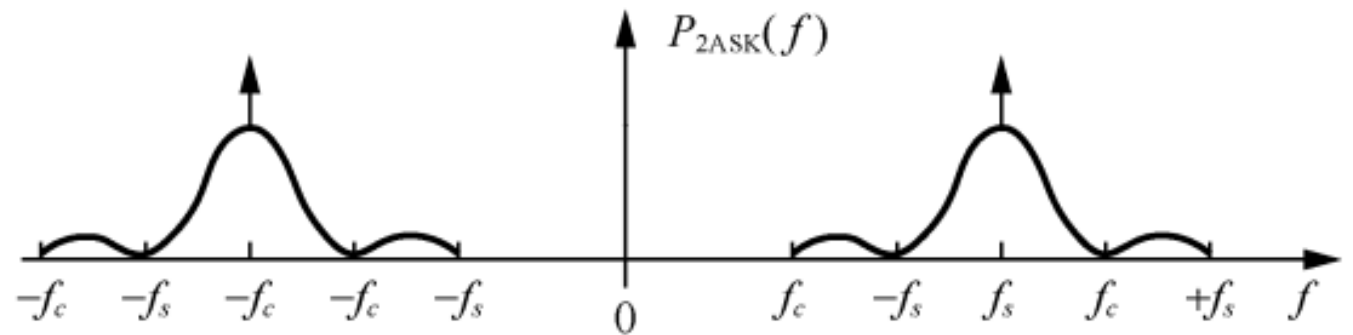
- 载波  $A\sin(\omega t + \varphi)$  的三个特性幅度、频率、相位
  - 幅移键控法（调幅） Amplitude-shift keying (ASK)
    - 幅移就是把频率、相位作为常量，而把振幅作为变量
  - 频移键控法（调频） Frequency-shift keying (FSK)
    - 频移就是把振幅、相位作为常量，而把频率作为变量
  - 相移键控法（调相） Phase-shift keying (PSK)
    - 相移就是把振幅、频率作为常量，而把相位作为变量



- **振幅键控**是载波的**幅度**随数字基带信号变化而变化的数字调制方式
- 二进制振幅键控2ASK, 又称通断键控信号 (OOK信号)



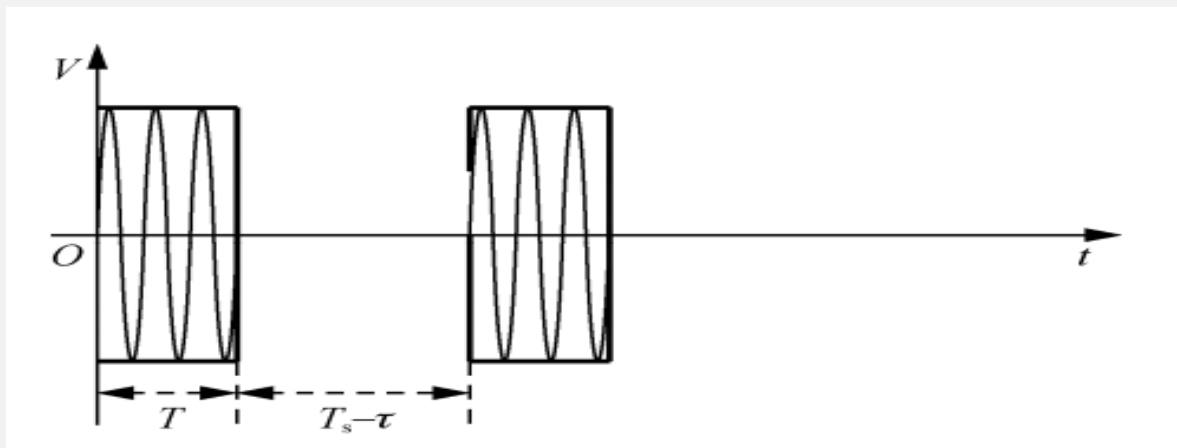
(a) 时域特性



(b) 频域特性

- 2ASK-基本特点

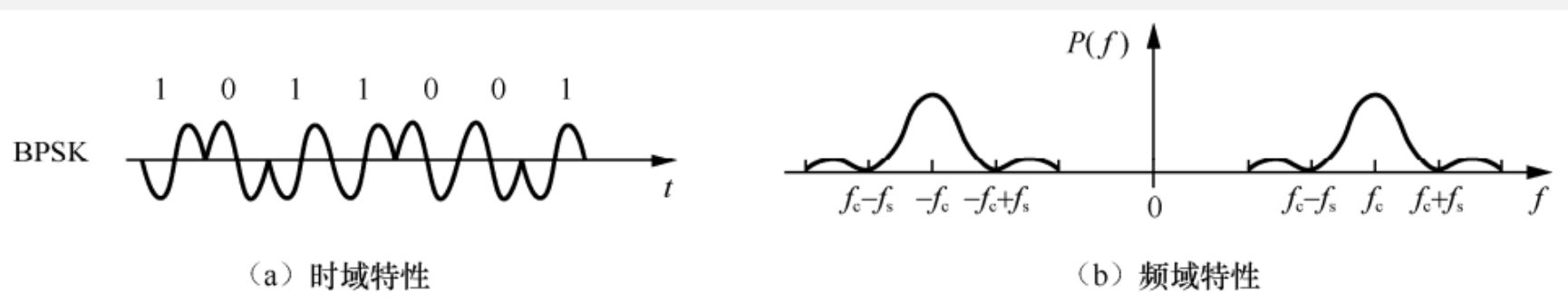
- 其包络是变化的，且变化规律与基带信号有关
- 其载波频率是恒定的，且与基带信号无关
- 信号带宽是基带脉冲波形带宽的 2 倍，近似为  $2f_s$



通断键控调制波形

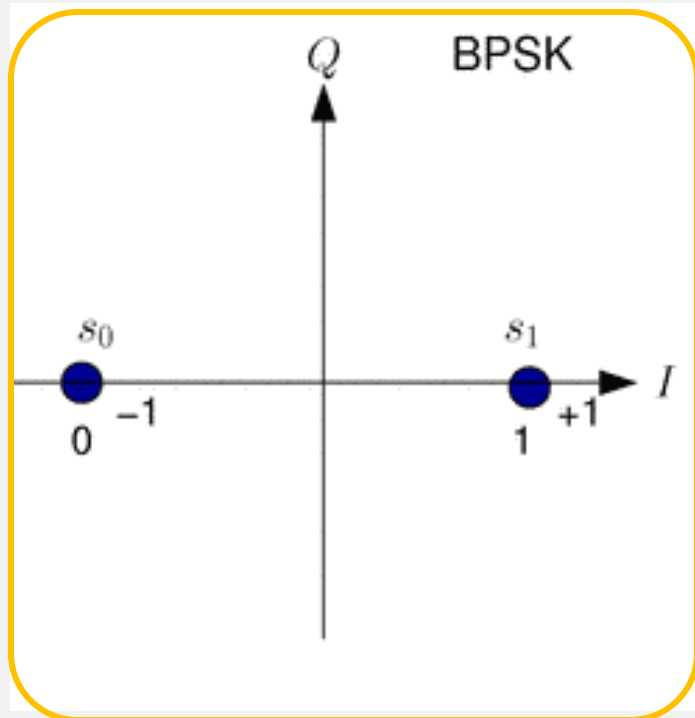


- 正弦载波的相位随二进制数字基带信号离散变化
- BPSK-时域与频域特性

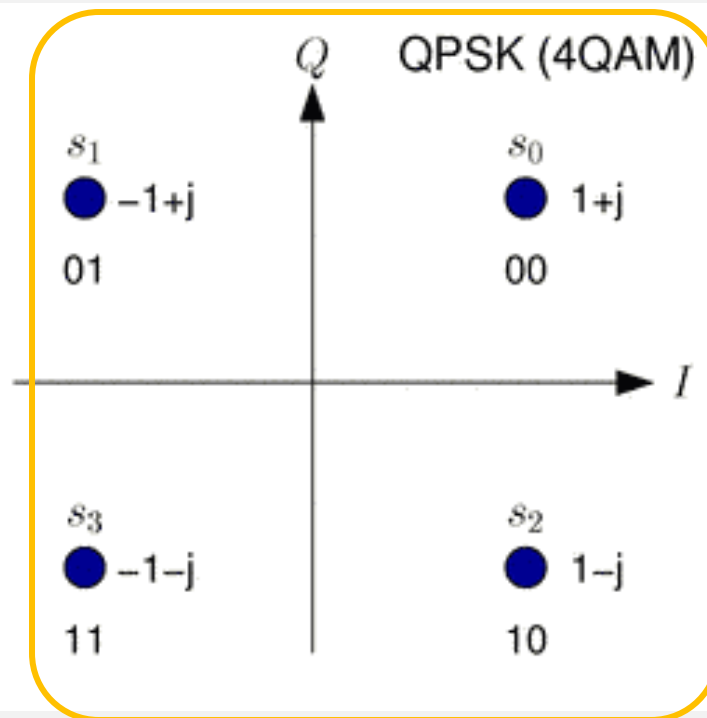


- BPSK-基本特点
  - 其包络是恒定的，其载波频率也是恒定的
  - 其载波初始相位是变化的，有两个初始相位（0 和  $\pi$ ），与基带信号有关
  - 信号带宽是基带脉冲波形带宽的 2 倍，近似为  $2f_s$

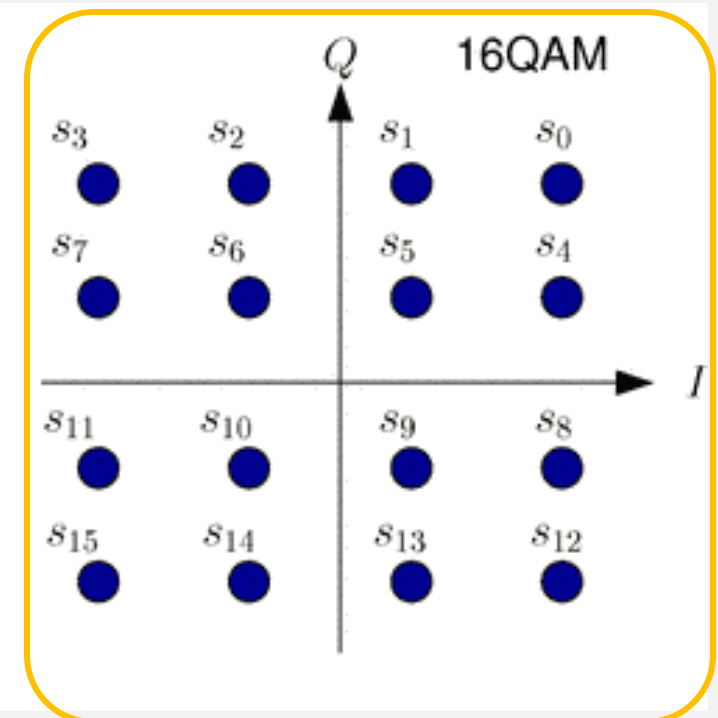
# 数字调制-星座图



BPSK使用了基准的正弦波和相位反转的波浪，使一方为0，另一方为1，从而可以同时传送接受2值(1比特)的信息



QPSK是一种四进制相位调制，采用移相方式QPSK，每个点2比特信息，具有良好的抗噪特性和频带利用率通信业务



QAM全称正交幅度调制是一种数字调制方式，产生的方法有正交调幅法和复合相移，16QAM是指包含16种符号的QAM调制方式

- 本章主要内容：无线信号与信道特性；常见数字调制方式的基本原理。
- 本章学习目标
  - 熟悉无线信号与信道特性
  - 掌握常见数字调制方式原理
- 参考习题
  - 第1、2、4和6题